

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Užarević

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Vesna Alar

Student:

Ivan Užarević

Zagreb, 2013.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Ivan Užarević

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Vesni Alar što mi je bila mentor, te što mi je omogućila da izradim diplomski rad u području zaštite materijala.

Zahvaljujem se dr. sc. Ivanu Stojanoviću na korisnim i stručnim savjetima, te na velikom uloženom trudu i pomoći.

Zahvaljujem se svim djelatnicima u Laboratoriju za zaštitu materijala na pomoći prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se djelatnicima "IVEKOVIĆ - TZM" što su mi pripremili uzorke za izradu diplomskog rada, a posebno gospodinu Robertu Ivekoviću i Željku Moštaku, ing.gr.

Zahvaljujem se djelatnicima "Chromos boje i lakovi d.d. " što su mi napravili mehanička ispitivanja na uzorcima.

Zahvaljujem se svojim roditeljima što su mi omogućili školovanje i podupirali me, te cijeloj svojoj obitelji što su mi pružali podršku tokom studija.

Ivan Užarević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

| | |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: | |
| Ur.broj: | |

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Užarević**

Mat. br.: 0035159707

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **Zaštitna svojstva epoksidne prevlake na aluminiju**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **The protective properties of epoxy coatings on aluminium**

Opis zadatka:

Zaštita od korozije prevlakama je osnovna metoda zaštite metalnih konstrukcija. Koristi se za zaštitu od korozije i u najagresivnijim okolišima kao što su more i tlo, a osigurava sigurnost rada i trajnost konstrukcije.

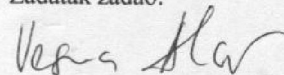
U teorijskom dijelu rada izučiti literaturu i na prikladan način prikazati moguće pojavne oblike korozije na aluminijskim konstrukcijama. Opisati postupak zaštite od korozije organskim prevlakama. Posebno se osvrnuti na svojstva zaštite od korozije praškastim epoksidnim prevlakama.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je pripremiti podloge od aluminija te ih zaštititi praškastom epoksidnom prevlakom postupkom elektrostatskog nanošenja. Na pripremljenim uzorcima provesti fizikalno kemijska ispitivanja, te ispitivanja u slanoj komori sukladno normi HRN EN ISO 9227. Po završetku dati ocjenu svojstva zaštite epoksidne prevlake na aluminiju.

Zadatak zadan:

6. prosinca 2012.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Vesna Alar

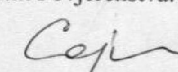
Rok predaje rada:

7. veljače 2013.

Predviđeni datum obrane:

13. - 15. veljače 2013.

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA | IV |
| POPIS OZNAKA | V |
| SAŽETAK | VI |
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Ekonomski značaj korozije | 2 |
| 1.2. Vrste korozije prema geometrijskom obliku razaranja | 2 |
| 1.2.1. Opća korozija | 2 |
| 1.2.2. Lokalna korozija | 2 |
| 1.2.3. Selektivna korozija | 4 |
| 1.2.4. Interkristalna korozija | 4 |
| 2. ALUMINIJ | 5 |
| 2.1. Povijest aluminija | 5 |
| 2.2. Svojstva aluminija | 5 |
| 2.3. Prednosti | 6 |
| 2.4. Nedostaci | 7 |
| 2.5. Primjena | 7 |
| 3. KOROZIJSKA SVOJSTVA ALUMINIJSKIH LEGURA | 12 |
| 4. ZAŠTITA ORGANSKIM PREVLAKAMA | 17 |
| 4.1. Premazivanje | 17 |
| 5. EPOKSID | 21 |
| 5.1. Svojstva epoksida | 21 |
| 5.2. Vrste i kako nastaje | 21 |
| 5.2.1. Bisfenol –A | 21 |
| 5.2.2. Bisfenol –F | 22 |
| 5.2.3. <i>Novolac</i> | 22 |
| 5.3. Proces otvrdnjavanja epoksidne smole | 23 |
| 6. ELEKTROSTATSKO NAPRAŠIVANJE | 25 |
| 6.1. Prednosti elektrostatskog naprašivanja | 25 |
| 6.2. Nedostaci elektrostatskog naprašivanja | 26 |
| 6.3. Proces elektrostatičkog nanošenja | 27 |
| 6.3.1. Priprema površine | 27 |
| 6.3.2. Nanošenje praška | 28 |
| 6.3.3. Temperaturno otvrdnjavanje | 30 |
| 6.3.4. Oprema | 31 |
| 6.4. Smjerovi razvoja elektrostatičkog nanošenja | 31 |
| 7. ELEKTROSTATSKI NANESENE EPOKSIDNE PREVLAKE NA ALUMINIJU | 33 |
| 7.1. Nedostaci aluminijskog pasivnog filma | 33 |
| 7.2. Razlozi korištenja elektrostatski nanesenih epoksidnih premaza | 33 |
| 7.3. Svojstva aluminija zaštićenog elektrostatski nanesenom epoksidnom prevlakom | 33 |
| 7.4. Primjena aluminija zaštićenog elektrostatski nanesenom epoksidnom prevlakom | 34 |
| 8. EKSPERIMENTALNI DIO | 36 |
| 8.1. Priprema uzoraka | 36 |
| 8.2. Plan pokusa | 39 |
| 8.3. RAL ispitivanje | 40 |
| 8.4. Mjerenje debljine prevlake | 42 |
| 8.5. Ispitivanje sjaja | 43 |

| | |
|---|----|
| 8.6. Ispitivanje otpornosti na udar | 44 |
| 8.7. Ispitivanje elastičnosti | 45 |
| 8.8. Ispitivanje otpornosti na morsku atmosferu (slana komora) | 47 |
| 8.9. Ispitivanje otpornosti na vlažnu i toplu atmosferu (vlažna komora) | 49 |
| 8.10. Ispitivanje otpornosti na UV zračenje | 50 |
| 8.11. Ispitivanje prionjivosti | 53 |
| 8.12. Ispitivanje tvrdoće prevlake | 59 |
| 9. ANALIZA REZULTATA I ISPITIVANJA | 62 |
| 10. ZAKLJUČAK | 65 |
| 11. Literatura | 66 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Aluminij valjan u foliju | 9 |
| Slika 2. Aluminijska kupola crkve San Giocchino | 10 |
| Slika 3. Aluminijski spremnik za kompresirani plin | 11 |
| Slika 4. Primjena aluminija za aluminijske felge | 11 |
| Slika 5. Aluminijski profili | 11 |
| Slika 6. Korozija aluminija zaštićenog prevlakom | 15 |
| Slika 7. Kemijska struktura bisfenola –A | 22 |
| Slika 8. Kemijska struktura bisfenola –F | 22 |
| Slika 9. Kemijska struktura epoksi fenol novolac-a | 23 |
| Slika 10. Kemijska struktura epoksi kresol novolac-a | 23 |
| Slika 11. Linija za elektrostatsko naprašivanje | 26 |
| Slika 12. Pištolj za elektrostatsko naprašivanje | 29 |
| Slika 13. Operater pri radu prilikom izvođenja elektrostatskog naprašivanja | 29 |
| Slika 14. Oprema za elektrostatsko naprašivanje | 31 |
| Slika 15. Plastificirani aluminijski profil | 35 |
| Slika 16. Plastificirano kućište motora automobila | 35 |
| Slika 17. Aluminijski uzorci u početnom stanju | 36 |
| Slika 18. Aluminijske pločice nakon kromatiranja | 37 |
| Slika 19. Nanošenje praškaste prevlake na površinu obratka | 38 |
| Slika 20. Komora za elektrostatsko nanašanje u postrojenju Iveković | 38 |
| Slika 21. Uzorci pripremljeni za laboratorijska ispitivanja u diplomskom radu | 39 |
| Slika 22. Testiranje uz pomoć RAL karte | 41 |
| Slika 23. Testiranje uz pomoć RAL karte nakon ispitivanja u UV komori | 41 |
| Slika 24. Mjerenje debljine prevlake uređajem QuaNix 1500 | 42 |
| Slika 25. Izmjerene debljine prevlake na uzrocima | 42 |
| Slika 26. Uređaj za mjerenje sjaja | 43 |
| Slika 27. Uređaj za ispitivanje otpornosti na udar | 45 |
| Slika 28. Uređaj za ispitivanje elastičnosti prevlake | 46 |
| Slika 29. Uzorci nakon ispitivanja elastičnosti i otpornosti na udar | 46 |
| Slika 30. Slana komora, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB | 47 |
| Slika 31. Uzorci smješteni u slanu komoru | 48 |
| Slika 32. Usporedba uzoraka prije i poslije slane komore | 48 |
| Slika 33. Vlažna komora, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB | 49 |
| Slika 34. Uzorci unutar vlažne komore | 49 |
| Slika 35. Usporedba uzoraka prije i poslije vlažne komore | 50 |
| Slika 36. UV komora Erichsen Sunbox 522-1500/e | 51 |
| Slika 37. Uzorci unutar UV komore | 51 |
| Slika 38. Usporedba uzoraka prije i nakon UV komore | 52 |
| Slika 39. Usporedba uzorka s epoksidnom prevlakom | 53 |
| Slika 40. Usporedba uzorka s poliuretanskom prevlakom | 53 |
| Slika 41. Postupak urezivanja mrežice | 54 |
| Slika 42. Test olovke za mjerenje tvrdoće | 60 |
| Slika 43. Postupak ispitivanja tvrdoće prevlake | 61 |
| Slika 44. Rezultati mjerenja tvrdoće prevlake | 61 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Kemijska i fizikalna svojstva premaza | 20 |
| Tablica 2. Plan pokusa | 40 |
| Tablica 3. Parametri ispitivanja u slanoj komori | 47 |
| Tablica 3. Ocjena prionjivosti prema normi ISO 2409 | 55 |
| Tablica 4. Izgled uzoraka s epoksidnom prevlakom nakon ispitivanja adhezije | 57 |
| Tablica 5. Izgled uzoraka s poliuretanskom prevlakom nakon ispitivanja adhezije | 58 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|---------------|-------------------|--|
| T | °C | Temperatura |
| l | m | Duljina |
| t | s | Vrijeme |
| U | V | Električni napon |
| I | A | Jakost struje |
| Q | m ³ /h | Volumni protok praha |
| λ | nm | Valna duljina svjetlosti |
| ISO | - | Međunarodna organizacija za standardizaciju |
| ASTM | - | Američko društvo za ispitivanje i materijale |
| DIN | - | Njemački institut za norme |
| RAL | - | Sustav određivanja nijanse boje |
| UV | - | Ultraljubičasta svjetlost |

SAŽETAK

Diplomski rad se sastoji od teoretskog i eksperimentalnog dijela.

U teoretskom dijelu su prikazani mogući pojavnici korozije na aluminijskim konstrukcijama, te je opisan postupak zaštite od korozije organskim prevlakama. Posebno je obrađena primjena epoksidnih prevlaka.

Detaljno je opisan postupak nanošenja praškastih prevlaka elektrostatskim naprašivanjem.

U eksperimentalnom dijelu rada pripremljeni su aluminijski uzorci koji su postupkom elektrostatskog naprašivanja zaštićeni epoksidnim i poliuretanskim prevlakama. Korozijskim i mehaničkim ispitivanjima napravljena je usporedba između ove dvije prevlake, te je dan osvrt na rezultate ispitivanja.

1. UVOD

Korozija je proces kemijskog trošenja materijala pri čemu na njega djeluje plinoviti ili kapljeviti medij pri čemu nastaju čvrsti, otopljeni ili plinoviti produkti korozije.

Posljedica korozije je smanjenje mase i dimenzija predmeta koji je korodirao, iako se nekad prividno može povećati masa i dimenzije zbog zadržavanja korozijskih produkata na površini materijala. Smanjenjem mase i dimenzija se smanjuje i opteretivnost, odnosno površina poprečnog presjeka materijala čime se smanjuje i maksimalno opterećenje kojim se može opteretiti materijal, [1].

Korozija dovodi do:

- povećanja hrapavosti površine,
- pojave pukotina i perforacija,
- kvarenja izgleda,
- povećanja površinskog električkog otpora,
- onečišćenja fluida, [1].

1.1. Ekonomski značaj korozije

Vrlo je važno prepoznati ekonomski značaj korozije, zbog financijskih i drugih gubitaka koje ona može uzrokovati, a troškovi koje korozija uzrokuje mogu biti direktni i indirektni.

Direktni troškovi koje uzrokuje korozija su obuhvaćeni zamjenom i kupnjom zamjenskih dijelova i propadanjem dijelova konstrukcija napadnutih korozijom. Bitno je prepoznati da se troškovi korozije ne sastoje samo od direktnih troškova, tj. troškova koji su vidljivi na prvi pogled, već da postoje i indirektni ili neizravni troškovi. Neizravni troškovi mogu biti puno veći od direktnih troškova, jer mogu imati posljedice koje ne utječu samo na dio konstrukcije koji je korodirao već mogu utjecati i na ostatak konstrukcije i njenu okolinu. Neki primjeri neizravnih troškova su zastoji u proizvodnji, pri čemu se, ako se zastoj dogodio u nekoj visokoserijskoj proizvodnji, troškovi mogu iznositi znatno više nego što je trošak dijela koji je korodirao. Također jedan od neizravnih troškova je onečišćenje okoliša koje se može dogoditi ukoliko npr. korodira spremnik s otrovnom kapljevnom ili plinom. Ukoliko dođe do korozije nosive konstrukcije, npr. građevine u kojoj borave ljudi, može čak doći do izravne opasnosti za ljudski život i zdravlje. Treba uzeti u obzir i smanjenje efikasnosti uređaja čiji su dijelovi korodirali – pogotovo ako je riječ o pokretnim dijelovima.

Takav uređaj troši više energije i više se zagrijava čime mu se znatno smanjuje vijek trajanja i učinkovitost.

1.2. Vrste korozije prema geometrijskom obliku razaranja

Prema geometrijskom obliku korozijska oštećenja se mogu podijeliti na:

- opću koroziju,
- lokalnu koroziju,
- selektivnu koroziju,
- interkristalnu koroziju.

1.2.1. Opća korozija

Opća korozija je najčešći i najrašireniji oblik korozije. Ovaj tip korozije je lako prepoznati jer zahvaća cijelu površinu koja je izložena agresivnom mediju. Iako je ovo najrašireniji oblik korozije, ujedno je i najbezopasniji, jer je vidljiv golim okom i može se na vrijeme spriječiti.

Ovaj oblik korozije može se podijeliti na:

- ravnomjernu opću koroziju,
- neravnomjernu opću koroziju.

Razlika između ova dva tipa opće korozije je u tome da ravnomjerna korozija napreduje jednakom brzinom po cijeloj korodiranoj površini, dok neravnomjerna korozija na nekim dijelovima površine napreduje brže, a na nekima sporije, [2].

Neki primjeri opće korozije su, [2]:

- plinska korozija metala,
- atmosfersko hrđanje čelika,
- patiniranje bakra i bakrenih legura, itd.

1.2.2. Lokalna korozija

Lokalna korozija je vrsta korozije koja zahvaća samo neke dijelove površine koji su izloženi agresivnom mediju. Kod ove vrste korozije gubitak materijala je znatno manji nego kod opće korozije, ali je daleko opasnija jer se teško zamjećuje, te može doći do iznenadnih havarija.

Ovaj oblik korozije može se podijeliti na:

- pjegastu koroziju,
- rupičastu koroziju,
- podpovršinsku koroziju,
- kontaktnu koroziju,
- filiformnu koroziju.

Pjegasta korozija zahvaća anodna mjesta na površini izloženoj agresivnom mediju. Ova vrsta lokalne korozije je lako uočljiva i nije jako opasna.

Rupičasta korozija (pitting) je jedan od najopasnijih oblika korozije, jer prodire duboko u površinu materijala. Ovoj vrsti korozije su podložni željezo, cink, nikal, Cr-Ni čelici, aluminij, bakar te njihove legure i to najčešće prilikom izloženosti kloridnim elektrolitima. Rupičastoj koroziji pogoduju i lokalna onečišćenja površine (npr. kapljice metala ostale nakon zavarivanja), pa je, ukoliko je to moguće, potrebno redovito čistiti površinu metala kako bi se smanjili izgledi za nastanak ove opasne korozijske pojave.

Napetosna korozija – kako bi došlo do ove vrste korozije potrebno je ispuniti tri uvjeta:

- djelovanje vlačne sile koja djeluje na konstrukciju,
- prisutnost agresivnog medija,
- materijal koji pogoduje stvaranju napetosne korozije.

Ako jedan od ta tri faktora nije ispunjen, do napetosne korozije neće doći, te će brzina napredovanja korozije u tom materijalu biti znatno manja, nego što bi bila u slučaju pojave napetosne korozije. Također je važno napomenuti da se vlačna opterećenja mogu pojaviti i u obliku zaostalih naprezanja npr. nakon obrade zavarivanjem ili hladnog deformiranja.

Potpovršinska korozija se javlja kod pojave rupičaste korozije kada se žarište korozije širi u dubinu materijala. Na površini materijala javljaju se mjehuri, jer u unutrašnjosti materijala nastaju korozijski produkti čiji je volumen veći od volumena napadnutog metala.

Ova vrsta korozije najviše se pojavljuje na valjanim metalima u dodiru s morskom vodom i kiselinama.

Kontaktna korozija nastaje prilikom dodira davaju metalnih dijelova u elektrolitu. Kontaktne korozije se može podijeliti na:

- galvansku koroziju,
- koroziju u procjepu.

Do galvanske korozije dolazi ukoliko su u dodiru dva metala različitih električnih potencijala, uz prisutnost elektrolita, pri čemu će korodirati metal koji je manje plemenit.

Do korozije u procjepu dolazi kada su u kontaktu dva metala istih električnih potencijala ili metal i nemetalni materijal, a čijim spajanjem nastaje procjep na konstrukciji. Kod ove vrste korozije metal unutar procjeka se ponaša kao anoda, te korodira, a metal izvan procjeka se ponaša kao katoda.

Filiformna korozija – nastaje na materijalima s prevlakom koja ne prijanja jako na površinu metala. Korodirano mjesto ima izgled crvotočine na površini metala. S obzirom da ova vrsta korozije ne napreduje u dubinu materijala, ona predstavlja većinom estetski problem. Može se spriječiti korištenjem plastificiranih prevlaka koje dobro prijanjaju na površinu metala, [3].

1.2.3. Selektivna korozija

Selektivna korozija napada samo jednu od faza ili komponenti višefaznog ili višekomponentnog materijala.

Ova vrsta korozije može se podijeliti na:

- faznu selektivnu koroziju,
- komponentnu selektivnu koroziju.

Primjer fazne korozije je grafitizacija sivog lijeva, a primjer komponentne korozije je decinkacija mjedi.

1.2.4. Interkristalna korozija

Interkristalna korozija je vrlo opasan oblik korozije, jer ga je teško zamijetiti dok se širi u dubinu materijala. Interkristalna korozija napreduje tako da razara materijal na granicama zrna, pri čemu dolazi do gubitka čvrstoće materijala te naposljetku do loma, [4].

2. ALUMINIJ

2.1. Povijest aluminija

Aluminij je prvi put proizveden 1825. god., a proizveo ga je danski kemičar H. C. Ørsted. Zbog skupog postupka dobivanja aluminija iz rudače (boksita) aluminij je bio skuplji od zlata, sve do 1886. god. kada su C. M. Hall i P. Héroult otkrili relativno jeftin postupak za proizvodnju aluminija, [5].

2.2. Svojstva aluminija

Aluminij se danas mnogo koristi zahvaljujući svojim dobrim mehaničkim, kemijskim i električnim svojstvima:

- Povoljan omjer čvrstoće i gustoće, pogotovo kada je legiran. Legiranjem i precipitacijskim očvršnućem mogu se proizvesti legure koje imaju čvrstoću većine čelika. Kako bi se postigla što veća čvrstoća i tvrdoća aluminij se legira bakrom, magnezijem, silicijem, manganom, kromom, cinkom i drugim metalima. Legiranje aluminija načelno štetno djeluje na njegovu otpornost na koroziju, a posebno legiranje s bakrom, koji s druge strane bitno poboljšava njegova mehanička svojstva, [5].
- Dobra električna vodljivost – sve se više koristi za prijenos električne energije i sve više istiskuje bakar kao najčešće susretani materijal za prijenos električne energije, [5].
- Velika korozijska postojanost čini ga široko primjenjivim u graditeljstvu, [5].

Aluminij ima nisko talište, na 660 °C što ograničava njegovu primjenjivost, pogotovo zato što mu se mehanička svojstva bitno pogoršavaju već na 300 °C, [5].

Zbog velikog afiniteta prema kisiku, te se u prisutnosti kisika na zraku i vodenim otopinama stvara gusti nepropusni oksidni sloj Al_2O_3 koji ima izvrsna zaštitna svojstva. Ukoliko se oksidni sloj ošteti, uz prisutnost kisika se oksidacijom stvara novi sloj. Zbog tog zaštitnog sloja aluminij je pasivan u vodi i na zraku iako nije plemeniti metal, [5].

2.3. Prednosti

Pasivan je u vlažnoj atmosferi, slatkoj vodi i mnogim aeriranim elektrolitima kojima je pH vrijednost između 4 i 9. U tom pH intervalu rupičasta korozija (*pitting*) je moguća samo u prisutnosti aktivnih aniona (npr. kloridi u morskoj atmosferi) ili kationa plemenitih metala (npr. Cu^{2+} i Fe^{3+}), [2].

Uzrok pojave rupičaste korozije mogu biti i nečistoće u kemijskoj strukturi aluminijskog aluminija. Prisutnost nečistoća u aluminiju može doprinijeti stvaranju galvanskog članka i uz prisutnost elektrolita dovesti do korozije. Osim toga nečistoće mogu uzrokovati neravnomjerno stvaranje zaštitnog oksidnog filma na površini aluminija. Kako bi se izbjegla rupičasta korozija jedna od opcija je korištenje što čistijeg aluminija. Što je aluminij čistiji to je zaštitni sloj kompaktniji što pridonosi boljoj zaštiti od korozije. Kako je čisti nelegirani aluminij relativno mekan i ima nisku vlačnu čvrstoću, često ga je potrebno legirati kako bi mu se poboljšala mehanička svojstva, iako ga to čini osjetljivijim na pojavu korozije. Druga opcija za sprečavanje *pittinga* je umjetno stvaranje kvalitetnijeg zaštitnog sloja kemijskim postupcima fosfatiranja, kromatiranja i anodizacijom, [2].

Debljina prirodno stvorenog zaštitnog sloja aluminija je tek 0,01 mm. Ona se može znatno povećati elektrokemijskom oksidacijom aluminija – *anodizacijom*. Anodizacija se izvodi u kupkama sa sumpornom ili kromnom kiselinom, a nastali zaštitni sloj je ravnomjeran, gust i staklasto-proziran, te ga je moguće obojiti dodavanjem raznih dodataka u elektrolit, [5].

Aluminij je otporan na sljedeće kiseline:

- hladnu sumpornu kiselinu,
- oksidativne kiseline (npr. dušična, kromatna),
- na mnoge organske kiseline (npr. octena, kiselina iz mnogih živežnih namirnica).

Aluminij je otporan na:

- maziva,
- tekuća goriva,
- SO_2 ,
- H_2S .

2.4. Nedostaci

Postojanost aluminija može smanjiti dodir s živom ili otopinama njenih soli, jer se na mjestu dodira sa živom neće moći stvoriti pasivni film. Aluminij koji je bio u dodiru sa živom ostaje nepostojan i nakon odstranjivanja žive, te brzo korodira na vlažnom zraku, [2].

Aluminij korodira u sljedećim kiselinama:

- klorovodična,
- fluoridična,
- donekle korodira u reduktivnim organskim kiselinama (npr. mravljoj i oksalnoj).

Opasnost za aluminij predstavlja dodir s lužinama, jer one razaraju njegov zaštitni oksidni sloj.

Brzo se otapa u jako lužnatim elektrolitima (npr. u vapnenom mlijeku – otopini $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

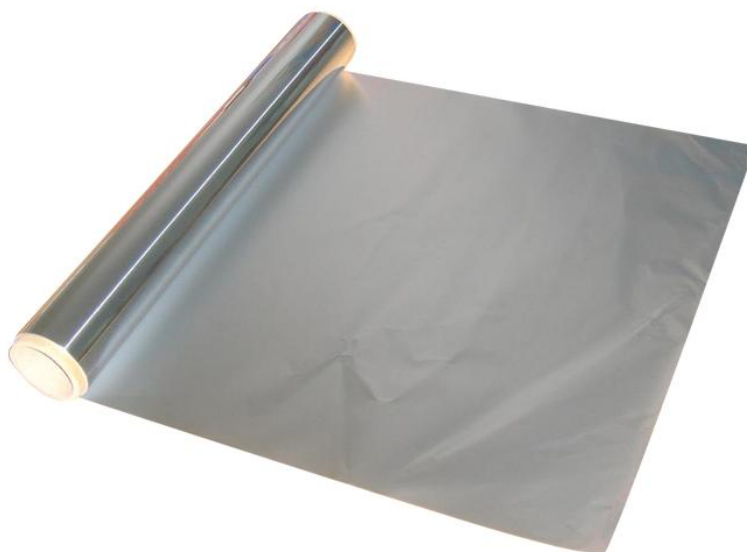
Kontakt s drugim metalima u prisutnosti elektrolita često ubrzava koroziju aluminija, ali kontakt s pasivnim nehrđajućim čelicima i plemenitim metalima u nekim elektrolitima može doprinijeti stvaranju pasivnog filma na aluminiju i tako pridonijeti njegovoj zaštiti (anodno ga zaštititi). Također cink može katodno zaštititi aluminij u mnogim kiselim, neutralnim i slabo lužnatim elektrolitima, [2].

2.5. Primjena

Aluminij je vrlo pogodan za izradu električnih vodiča, zbog svoje visoke vodljivosti te zbog deformabilnosti što ga čini pogodnim za vučenje u žice. Aluminijske žice se koriste kao vodiči u dalekovodima zbog male mase aluminija u odnosu na bakar čime se smanjuje opterećenje na stupove dalekovoda. Također cijena aluminija je znatno manja od bakra što je razlog više za njegovo korištenje u dalekovodima. S obzirom da se legiranjem smanjuje električna vodljivost aluminija za dalekovode se koristi čisti aluminij (legura 1XXX). Kako čisti aluminij ima malu čvrstoću snop aluminijskih žica se omata oko čelične žice koja je prethodno galvanizirana ili presvučena aluminijem, [6].

Prihvatljiva cijena, mala masa u odnosu na čelik, zadovoljavajuća mehanička svojstva i dobra oblikovljivost čine aluminij vrlo popularnim materijalom za izradu transportnih sredstava i vozila. U avioindustriji je aluminij vrlo zastupljen materijal, jer 70% mase zrakoplova čini aluminij i aluminijske legure. Trupovi brodova su također izrađeni od aluminijskih legura zbog svoje korozijske postojanosti i relativno dobrih mehaničkih svojstava. Iako je do nedavno čelik bio najzastupljeniji materijal u autoindustriji, tu ulogu sve više preuzima aluminij zbog sve većeg trenda smanjenja mase vozila. Što je masa vozila manja, to je manja potrošnja sve skupljeg goriva te je manje ispuštanje ugljičnog dioksida i smanjeni štetni utjecaj na okoliš, [6].

U prehrambenoj industriji aluminijske legure se koriste za izradu folija za umatanje hrane, te za izradu raznih spremnika za krute i tekuće prehrambene proizvode. Koriste se legure koje sadrže 99% čistog aluminijskog radi toga što se lako oblikuju, lako se stavljaju dekoracije i oznake, te su neotrovne za čovjeka. Na slici 1. je prikazan aluminij valjan u tanku foliju. Takve legure imaju i izrazito veliku otpornost na koroziju što je jako bitno kako korozijski produkti ne bi došli u kontakt s hranom i pićem. Također prednosti aluminijske su što ne propušta UV svjetlost, ne propušta vlagu i ne ostavlja mirise. Koliko je aluminij značajan u prehrambenoj industriji govori činjenica da se 15% ukupne proizvodnje aluminijske iskoristi za izradu limenki za gazirana pića. Aluminij je jako pogodan za izradu robe široke potrošnje jer je lako oblikovljiv i lako ga je reciklirati. Važno je napomenuti da se recikliranjem aluminijske štede velike količine energije, jer se uštedi i do 95% energije koja se potroši za dobivanje aluminijske iz rudače, [5, 6].



Slika 1. Aluminij valjan u foliju, [7]

Aluminij se puno primjenjuje u građevinarstvu i arhitekturi prvenstveno zbog svoje velike otpornosti prema koroziji. Neki primjeri upotrebe su aluminijski tvornički krovovi, žlijebovi za odvod kišnice, aluminijska stolarija, ukrasne ploče i obloge na zgradama. O trajnosti aluminija govori podatak da je 1887. god. kupola crkve San Giocchino u Rimu popločana aluminijskim pločama te je i dan danas, nakon više od 100 godina, kupola te crkve u skoro istom stanju kao kad je napravljena [6]. Kupola crkve San Giocchino je prikazana na slici 2. Još jedan primjer korozijske otpornosti aluminija je kip Erosa na trgu Picadilly Circus u Londonu, postavljenog 1897. godine, koji je također napravljen od aluminija. Usprkos izloženosti agresivnoj Londonskoj atmosferi, prilikom redovitih popravaka radi održavanja 1947. godine, kip nije pokazivao znakove korozije, [2, 5, 8].



Slika 2. Aluminijska kupola crkve San Giocchino, Italija, [9]

Također, aluminij se koristi za izradu spremnika za kompresirane plinove, za izradu građevinskih ljestava, sportske opreme (teniski reketi, štapovi za golf, štapovi za skijanje), cestovnih znakova, kućanskog i uredskog namještaja, u svemirskoj industriji (skoro 80% mase svemirskih letjelica otpada na aluminij). Obradivost odvajanjem čestica je dobra ukoliko se koristi legura s dodatkom bizmuta ili olova, [6]. Aluminijski spremnik za komprimirani plin je prikazan na slici 3.



Slika 3. Aluminijski spremnik za komprimirani plin, [10]

Na slici 4. je prikazana aluminijska felga za automobil, a na slici 5. su prikazani aluminijski profili.



Slika 4. Primjena aluminija za aluminijske felge, [11]



Slika 5. Aluminijski profili, [12]

3. KOROZIJSKA SVOJSTVA ALUMINIJSKIH LEGURA

Kao što je već navedeno, čisti aluminij bez ikakvih primjesa je premekan za većinu primjena, te ga je često potrebno legirati. Legiranje se najčešće vrši kako bi se poboljšala mehanička svojstva, čvrstoća i tvrdoća, te kako bi ga se napravilo pogodnim za mehaničku obradu. Legure aluminija se označavaju brojevanom oznakom koja se sastoji od četiri brojke, pri čemu se iz prve brojke mogu iščitati legirni elementi koji su dodani aluminiju. U nastavku su opisana svojstva pojedinih aluminijskih legura.

Legure s oznakom 1XXX - Imaju najmanje 99% aluminija u svome sastavu. To zapravo nisu legure nego čisti aluminij s određenim postotkom nečistoća. Najčešće nečistoće su željezo i silicij. Ove legure su relativno otporne na koroziju. Ukoliko u svome sastavu imaju veći udio željeza imaju tendenciju da se pojavi pitting, posebno u vodenim otopinama koje sadržavaju kloride.

Legure s oznakom 2XXX - Od legirnih elemenata imaju najviše bakra, njegov udio doseže do 7%. Neke legure imaju magnezij i/ili mangan. Od ostalih legirnih elemenata mogu sadržavati litij (<2,5%), srebro (<1%) i nikal (2,5%) Ove legure se mogu ojačati termičkom obradom. Koriste se za izradu limova, ploča i za ekstrudiranje, a posebno važnu primjenu imaju u zrakoplovstvu. Prisutnost bakra smanjuje otpornost ove legure na opću koroziju i pitting. Ukoliko sadrži nikal povećana je otpornost koroziji pri visokim temperaturama, te se primjenjuje kod izrade dijelova poput motora s unutarnjim izgaranjem.

Legure s oznakom 3XXX - Od legirnih elemenata sadržavaju mangan do 1.5%, te magnezij do 1,5%. Ove legure se koriste za očvršćivanje deformacijom. Mangan ima minimalan utjecaj na smanjenje otpornosti prema koroziji, tako da ove legure imaju dobru otpornost na koroziju. Nedostatak ovih legura je što imaju osrednju čvrstoću. Od ovih legura se izrađuju limovi, ploče i ekstrudati. Koriste se i za izradu limenki za piće, cijevi za izmjenjivače topline i općenito za primjene gdje se traži dobra otpornost na koroziju.

Legure s oznakom 4XXX - Sadrže do 14% silicija. Zbog niskog tališta koriste se prvenstveno pri zavarivanju. Od njih se također izrađuju limovi i žice.

Silicij sam po sebi ne povećava sklonost koroziji, ali postoji mogućnost da, zbog visoke temperature prilikom zavarivanja, silicij difundira u granice zrna te tako smanjuje otpornost legure na koroziju.

Legure s oznakom 5XXX - Imaju do 6% magnezija, a neke legure sadrže i mangan. Ove legure očvršćavaju deformacijom i koriste se za izradu limova i ploča. Također neke od ovih legura se mogu koristiti za izradu žice te se mogu koristiti pri zavarivanju. Ukoliko sadrže visok postotak magnezija (>3%) koriste se za izradu brodova i pomorskih konstrukcija. Ove legure se mogu podijeliti na legure sa malim udjelom magnezija (do 3%) i legure s visokim udjelom magnezija (od 3 do 6%). Legure s malim udjelom magnezija imaju vrlo dobru otpornost na koroziju, dok legure s visokim udjelom magnezija imaju još veću otpornost na koroziju i veću čvrstoću, ali su osjetljive na interkristalnu koroziju, eksfolijaciju i napetosnu koroziju. Zbog toga se radna temperatura legura s visokim udjelom magnezija mora ograničiti na maksimalno 65 °C.

Legure s oznakom 6XXX - Ove legure sadrže pretežno magnezij (<2%) i silicij (<2%), te međusobno stvaraju magnezijev silicid koji im povećava čvrstoću. Neke od ovih legura sadrže bakar (<1,2%) i mangan (<1,2%). Ove legure očvršćuju toplinskom obradom i imaju osrednju čvrstoću. Otpornost koroziji im je dobra. Legure koje sadrže bakar imaju manju korozijsku otpornost nego legure koje ga ne sadrže. Ovisno o udjelu legirnih elemenata mogu se koristiti za izradu limova, ekstrudata ili ploča.

Legure s oznakom 7XXX - Sadrže do 8% cinka, a većina legura s ovom oznakom sadrži magnezij (<4%) i bakar (<3%). Ove legure ojačavaju termičkom obradom, te se nalaze među najčvršćim aluminijskim legurama koje su dostupne na tržištu. Većina ovih legura se koristi za izradu limova i ploča, a neke legure se koriste i za izradu ekstrudata. Zbog visokog udjela bakra ove legure imaju svega osrednju otpornost na opću koroziju i pitting.

Legure s oznakom 8XXX - To su legure koje se ne mogu smjestiti u prethodno nabrojane vrste legura. Većina ovih legura sadrži željezo u udjelu manjem od 10%. Neke od ovih legura se koriste za izradu folija za umatanje hrane pri čemu, za tu namjenu, imaju veliku otpornost koroziji. Neke od ovih legura sadrže bakar (<2%), magnezij (<2%) i litij (<3%) pri čemu ili nemaju željeza ili je ono zastupljeno u malom udjelu. Litij se dodaje kako bi se smanjila gustoća legure, što je važno za primjenu u svemirskim tehnologijama.

Korozijska otpornost ovih legura je slična kao kod legura s oznakom 7XXX.

Kako bi se poboljšala otpornost na koroziju aluminija provode se:

- mehanički postupci,
- postupci modificiranja površine,
- toplinska obrada.

Mehanički postupci

Obrade kao što su obrada deformacijom i obrada odvajanjem čestica su uzrok stvaranju zaostalih naprezanja.

Mehanički postupci se koriste kako bi se smanjila zaostala naprezanja, te se tako smanjila i sklonost napetosnoj koroziji i defolijaciji.

Kako bi se smanjila zaostala naprezanja u materijalu koristi se sačmarenje, no pri tome treba paziti da se odlomljeni komadići sačme ne usijeku u meku površinu aluminija.

Prevlačenje površine

Prevlačenje površine raznim prevlakama stvara barijeru između površine aluminija i korozivne atmosfere.

Prevlake koje se nanose na aluminij i njegove legure mogu biti:

- organske prevlake,
- anorganske prevlake,
- oksidi.

Organske prevlake se na aluminij nanose većinom iz dekorativnih razloga, ali mogu doprinijeti i zaštiti u nekim uvjetima. Neke prevlake mogu sadržavati i inhibitore korozije (npr. kromati). Ukoliko se aluminijske konstrukcije ukopavaju u zemlju ili beton koriste se teški premazi kao što su bitumenske i katranske prevlake.

Korozija aluminija zaštićenog prevlakom prikazana je na slici 6.



Slika 6. Korozija aluminija zaštićenog prevlakom, [13]

Anorganske prevlake se sastoje od aluminijske prevlake koja ima veliku korozijsku otpornost (oznake *1XXX* ili *7072*) te je metalurški vezana na jezgru koja je načinjena od legure manje korozijske postojanosti.

Anodna prevlaka se sastoji od umjetnog povećavanja debljine sloja aluminijske zaštitne prevlake, tj. aluminijevog oksida. Tako nastala površinska prevlaka je kristalne strukture, porozna i tvrda, te ju je potrebno uroniti u kipuću vodu kako bi se pore začepile (silirale). Zaštitnu prevlaku je moguće obojati pigmentima, ali se postupak treba provesti prije namakanja u kipuću vodu i zatvaranja pora. Anodna prevlaka ima iste karakteristike kao i prirodna aluminijska zaštitna prevlaka, te korodira u jakim lužinama i kiselinama.

Toplinska obrada

Toplinska obrada koja se provodi u cilju povećanja zaštite od korozije se može podijeliti na dvije skupine. Prva skupina je toplinska obrada koja povećava homogenizaciju površine aluminija, a druga skupina smanjuje zaostala naprezanja u aluminiju. Toplinska obrada se provodi za vrijeme ili nakon proizvodnje limova, ploča ili ekstrudata.

Homogenizacija provodi se u cilju ujednačavanja mikrostrukture aluminija, te kako bi mu se povećala oblikovljivost. Korozijska otpornost je to veća što je mikrostruktura legure veća, pa je iz tog razloga bitno provoditi homogenizaciju.

Povećanje temperature valjanja i ekstrudiranja - pravilan odabir temperature pod kojom se vrši valjanje i ekstrudiranje je važan, jer može imati značajan utjecaj na otpornost prema interkristalnoj koroziji. Temperatura pri kojoj obradak izlazi iz procesa ima velik utjecaj na oblik zrna i sastav na granicama zrna. Odabir pravilne temperature je posebno važan kod legura 3XXX i 5XXX koje ojačavaju deformiranjem i nad kojima se ne provodi daljnja temperaturna obrada.

Kaljenje se provodi brzim snižavanjem temperature aluminijskog aluminija nakon temperaturne obrade ili proizvodnje pri povišenim temperaturama. Brzina hlađenja može imati velik utjecaj na korozijsku otpornost aluminijskog aluminija. Brzim hlađenjem metal ima ujednačeniju mikrostrukturu nego što bi je imao da je provedeno sporije hlađenje. Ispravno provedeno kaljenje je posebno bitno kod legura s oznakom 2XXX i 7XXX koje su sklone interkristalnoj koroziji (eksfolijaciji i napetosnoj koroziji).

Žarenje je postupak toplinske obrade koji se provodi pri umjerenim temperaturama u cilju smanjenja zaostalih naprezanja. Ovaj postupak smanjuje čvrstoću legure, te povećava duktilnost i oblikovljivost te otpornost koroziji, [3].

4. ZAŠTITA ORGANSKIM PREVLAKAMA

Organske prevlake se mogu definirati kao one prevlake koje nastaju iz organske tvari i čine kompaktnu opnu na površini predmeta koji se prevlači. Takve prevlake mogu nastati premazivanjem, uobičajenim podmazivanjem, plastifikacijom, gumiranjem i bitumenizacijom, [1].

U nastavku će biti opisan postupak premazivanja, dok će plastifikacija biti detaljno opisana u poglavlju 6.

4.1. Premazivanje

Premazivanje je postupak nanošenja premaznih sredstava (boja i lakova) na površinu materijala koji se želi zaštititi, ali, osim zaštitne, oni pružaju i dekorativnu funkciju.

Nanošenje boja i lakova na metalne i nemetalne podloge redovito se vrši višeslojno uz potpuno ili djelomično sušenje prethodno nanesenog sloja, a ponekad i uz njegovu mehaničku obradu, [1].

Sva premazna sredstva sadrže vezivo i otapalo. Funkcija veziva je da stvori zaštitnu opnu na površini materijala, a funkcija otapala je da održava vezivo u tekućem stanju sve dok se premazno sredstvo ne nanese na površinu materijala. Nakon nanošenja, otapalo počinje hlapiti te na površini, ostaje suhi zaštitni film. Premazi svoju zaštitnu funkciju obavljaju tako da tvore nepropusnu barijeru između agresivne okoline i materijala, tj. ne dopuštaju agresivnoj okolini direktan kontakt s materijalom, [1].

Premazna sredstva mogu, osim otapala i veziva, sadržavati i netopljive praškove (pigmente i punila) koji premazu daju boju i čine ga neprozirnim. Pigmenti, pored dekorativne funkcije, svojim oblikom ili komijskom aktivnošću dodatno povećavaju zaštitnu funkciju premaza. Premaznom sredstvu se također mogu dodati i razni aditivi čije su najčešće svrhe ubrzavanje umrežavanja veziva, omekšavanje veziva i inhibirajuće djelovanje na koroziju metala, [1].

Veziva između slojeva koji se dodiruju moraju biti istovrsna ili kompatibilna kako bi zaštitni premaz dobro obavljao svoju funkciju, što znači da na granici između dva premaza ne smije doći do procesa koji bi ugrozili kvalitetu premaza.

Također potrebno je da podloga i temeljni premaz budu kompatibilni, kao i vezivo i otapalo, te punilo i aditivi, jer sve to utječe na svojstva premaza.

Kako bi se proizvelo kvalitetno premazno sredstvo potrebno je slijediti propise za miješanje veziva, pigmenata, punila, otapala i aditiva i to u različitim omjerima ovisno o primjeni tog premaza, [1].

Nanošenje boja se vrši:

- prskanjem uz pomoć komprimiranog zraka,
- ličenjem valjcima,
- nanošenjem četkama,
- nanošenjem lopaticama,
- uranjanjem,
- prelijevanjem,
- elektrostatskim prskanjem,
- bezračnim prskanjem.

Trajnost zaštite premazima varira od 5 do 50 godina, ali je potrebno redovito održavanje nanošenjem novog sloja ukoliko dođe do oštećenja prevlake na zaštićenom materijalu.

Premazi mogu sadržavati sljedeća veziva:

- akrilate,
- nezasićene poliestere,
- alkide,
- epokside,
- epoksi estere,
- poliuretane.

U nastavku će biti opisani premazi ovisno o vrsti veziva koju sadrže.

Akrilatni premazi

Akrilati mogu biti termoplastični ili duromerni. Termoplastični akrilati otvrdnjavaju isparavanjem otapala, dok duromerna otvrdnjavaju umrežavanjem makromolekula.

Ovi premazi imaju dobra mehanička svojstva, ne tamne na zraku i otporni su na djelovanje UV svjetla. Postojani su u vodi kao i razrijeđenim kiselinama i lužinama.

Otporni na temperature do 70 °C. Duromerni premazi su nešto tvrdi od termoplastičnih, ali su i manje postojani u kiselim i lužnatim otopinama.

Premazi od nezasićenih poliestera

Mogu se umrežavati u čvrste prevlake bilo katalitički bilo grijanjem. Ne mijenjaju boju prilikom izloženosti sunčevoj svjetlosti. Mogu se koristiti na temperaturama do 120 °C.

Postojani su na atmosferi, u vodi i slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama te mnogim otapalima. Imaju dobru otpornost prema mehaničkom trošenju.

Alkidni premazi

Čiste alkidne prevlake nisu sušive na zraku, pa ih nakon isparavanja treba peći pri 120-200 °C radi kemijskog otvrdnjavanja. Daju tvrde i glatke prevlake, primjenjive do temperature 120 °C, postojane su u atmosferi i slatkoj vodi.

Često se modificiraju drugim vezivima - najčešća su:

- sušiva, polusušiva i nesusšiva ulja
- melaminske smole
- karbamidne smole
- epoksidne smole
- poliuretani
- fenoplasti
- celulozni nitrat
- kolofonij
- silikoni

Ukoliko su u alkidni premaz dodana masna ulja, prevlaka će biti žilavija. Kako bi se povećala postojanost u slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama, alkidne prevlake se modificiraju epoksidnim smolama, poliuretanim i akrilatima.

Ukoliko je potrebna veća otpornost na više temperature modificiraju se fenolplastima i silikonima.

Epoksidni premazi

Dobro prijanjaju za sve podloge, a nakon sušenja imaju čvrstu su i glatku površinu.

S dodatkom katrana može im se povećati žilavost. Na suncu i prilikom izloženosti UV zrakama skloni su kredanju, jer se dolazi do raspadanja veziva, što je estetski problem, a smanjuje se i otpornost na trošenje trenjem. Podnose temperature do 120 °C.

Postojani su u atmosferi i vodi, kiselim i lužnatim vodenim otopinama, u tlu i u organskim otapalima. Epoksidi će biti detaljnije opisani u poglavlju 5.

Epoksi esterni premazi

Nastaju iz smjesa epoksidnih smola i masnih kiselina koje najčešće potječu iz sušivih ulja.

Kako bi se ubrzavalo otvrdnjavanje umrežavanjem dodaju im se sikativi. Podnose temperature do 120 °C. Postojani su u atmosferi i vodi, kiselim i lužnatim vodenim otopinama, u tlu i u organskim otapalima. Suše se na zraku, a mogu se sušiti i u pećima.

Poliuretanski premazi

Premazna sredstva mogu biti jednokomponentna, ali najčešće su dvokomponentna.

Premazi s dvokomponentnim vezivima imaju visok sjaj, postojani su na djelovanje sunčevog zračenja, otporne su na abraziju, te mogu izdržati temperature do 170 °C.

U odnosu na epoksidne premaze, su mehanički otporniji, manje postojani u lužnatima, ali postojaniji u kiselim sredinama i prema oksidansima.

Kemijska i fizikalna svojstva veziva prema švicarskoj normi SA 555 011 dana su u tablici 1.

Tablica 1. Kemijska i fizikalna svojstva premaza

| | Postojanost nijanse i sjaja u atmosferilijama | Mehanička postojanost | Toplinska postojanost | Otpornost na vodu | Otpornost na sol za otapanje leda | Otpornost na kiseline | Otpornost na lužine | Otpornost na pare otapala |
|--|---|--------------------------|--------------------------|----------------------|--|-----------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Alkid | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Epoksidester | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Uretanalkid | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Poliakrilat | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Silikon | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2K-Epoksid (dvokomponentni) | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 2K-Poliuretan (dvokomponentni) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 2K-Katran/Epoksid (dvokomponentni) | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 1K-Katran/Poliuretan FH (jednokomponentni) | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 |

0-niska, 1-srednja, 2-visoka

5. EPOKSID

5.1. Svojstva epoksida

Epoksid je duromer što znači da ima potpuno umreženu strukturu. Posljedica toga je da, za razliku od plastomera i elastomera koji nemaju potpuno umreženu strukturu i zbog toga pri zagrijavanju mekšaju i mogu se oblikovati, epoksid koji je duromer zagrijavanjem ne mijenja svoju strukturu, [5].

Ukoliko se temperatura epoksida previše poveća, dolazi do njegovog razaranja bez omekšavanja, [5].

Zbog tog svojstva da pri povišenim temperaturama ne mijenja svoju strukturu može se koristiti u situacijama gdje je potrebna veća temperaturna postojanost. S druge strane upravo ga to čini nepogodnim za recikliranje, [5].

5.2. Vrste i kako nastaje

Postoje tri osnovne vrste epoksidnih smola:

- bisfenol –A – nastaje iz bisfenol acetona i epiklorhidrina,
- bisfenol –F – nastaje iz bisfenol formaldehida,
- *novolac* epoksidne smole – nastaju modifikacijom bisfenola -F.

Od ove tri vrste epoksidnih smola najviše se koristi bisfenol –A, iako se i bisfenol –F i *novolac* sve više koriste jer je njihova molekularna masa manja od bisfenola –A. Manja molekularna masa omogućava više fleksibilnosti u proizvodnji smola koje ne ispravaju mnogo štetnih tvari, tj. koje su u skladu sa standardima o ispuštanju štetnih tvari u okoliš, [3]. Osim toga bisfenol –F i *novolac* imaju i veću kemijsku otpornost, otpornost na vlagu i toplinsku otpornost od bisfenola –A. To ih čini dobrim premazima, [3].

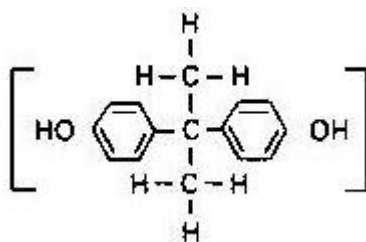
5.2.1. Bisfenol –A epoksidi se koriste za prevlake za zaštitu čeličnih dijelova i betona u industriji, te za zaštitu brodova i ostalih pomorskih objekata.

S dodatkom *amin* aditiva može se ostvariti vrlo dobra otpornost na vodu i kemijska otpornost. Osim toga takva prevlaka je vrlo žilava, otporna je na abraziju te termičke i mehaničke šokove.

S obzirom na to da imaju veću žilavost od epoksidnih smola bisfenol –F i novolac-a, koriste se za zaštitu objekata koji su skloni elastičnoj deformaciji (npr. oplata broda).

Ova smola je u krutom stanju i treba se rastopiti u otapalu kako bi prešla iz krutog u tekuće stanje, te se kao tekućina može koristiti kao boja ili premaz, [3].

Kemijska struktura bisfenola –A je prikazana na slici 7.



Slika 7. Kemijska struktura bisfenola –A, [3]

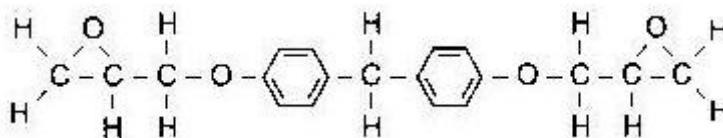
5.2.2. Bisfenol –F se razlikuje od bisfenola –A po tome što ima manju molekularnu masu (otprilike jednu trećinu mase bisfenola –A za jednaku funkcionalnost).

Epoksidna smola bisfenol –F ima veću kemijsku otpornost i otpornost na povišene temperature od bisfenola –A, ali je manje žilava i manje elastična.

Također za premaze s ovom smolom nije potrebno dodatno smanjivati udio otapala jer već kao takvi zadovoljavaju današnje granične udjele ($HOS < 450 \text{ g/l}$), [15].

Ne sadržavaju otapalo jer se već nalazi u tekućem stanju, pa se sve više koristi s obzirom na to da ispušta manje štetnih tvari (hlapljivih organskih spojeva) u okoliš, [3].

Kemijska struktura bisfenola –F je prikazana na slici 8.



Slika 8. Kemijska struktura bisfenola –F, [3]

5.2.3. Novolac epoksidne smole su modifikacija bisfenola –F dodatkom fenola.

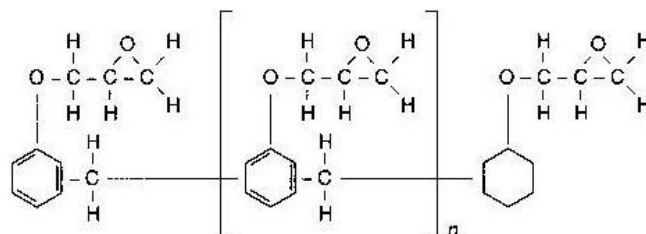
Novolac ima znatno veću viskoznost od bisfenol –F epoksidnih smola. Osim toga *novolac* ima znatno veću kemijsku otpornost, otpornost na vlagu te toplinsku otpornost od bisfenola –F.

Dvije najvažnije vrste novolac-a su epoksi fenol novolac i epoksi kresol novolac.

Epoksi fenol novolac-i su vrlo viskozne tekućine i polukruti materijali.

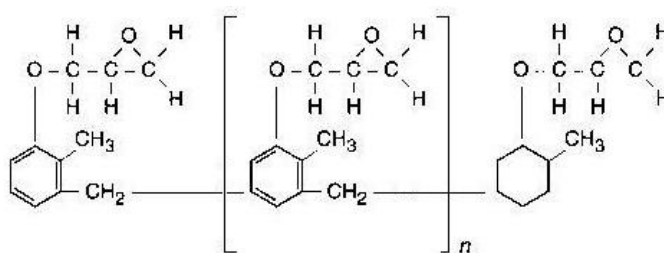
Epoksi kresol novolac-i su krutine i najčešće se koriste za izradu prašaka za praškasto naprašivanje. Velika gustoća molekularnih veza ove dvije epoksidne smole omogućuje im ekstremnu otpornost na toplinu, otapala, vlagu i kemijsku otpornost. Otporne su i na mineralne kiseline pri povišenim temperaturama. Također se primjenjuju u cijevima za duboko bušenje nafte koje su izložene visokim temperaturama, a često se nalaze u kiselom i alkalnom okruženju, te su izložene velikoj abraziji. Pri korištenju ovih epoksidnih smola vrlo je važno odabrati prikladan umreživač (otvrdnjivač), jer će u suprotnom prevlaka biti jako krhka i sklona pucanju, [3].

Kemijska struktura epoksi fenol novolac-a je prikazana na slici 9.



Slika 9. Kemijska struktura epoksi fenol novolac-a, [3]

Kemijska struktura epoksi kresol novolac-a je prikazana na slici 10.



Slika 10. Kemijska struktura epoksi kresol novolac-a, [3]

5.3. Proces otvrdnjavanja epoksida smole

Epoksidne smole prilikom kupnje obično dolaze u paketu s otvrdnjivačem. Epoksidna smola je unaprijed pomiješana s pigmentima i otapalom.

Neposredno prije upotrebe epoksidna smola se treba pomiješati s otvrdnjivačem.

Nakon toga dolazi do polimerizacije epoksidne smole, tj. ona se počne spajati u velike makromolekule i počinje se stvrdnjavati. Dužina trajanja procesa polimerizacije i otvrdnjavanja epoksidne smole ovisi o vrsti epoksidne smole, temperaturi okoline, debljini sloja premaza, vlazi zraka i ostalim faktorima, [3].

Prije polimerizacije epoksidna smola je u tekućem stanju nalik medu, a miješanjem s otvrdnjivačem i nanošenjem na površinu obratka ona prelazi u kruto stanje, [3].

Kako bi se epoksidna smola mogla koristiti kao premaz, potrebno ju je rastopiti u otapalu.

Ukoliko se od epoksida želi napraviti praškasti materijal koji se može koristiti za elektrostatsko naprašivanje primjenjuje se slijedeći postupak, [16]:

1. granule polimera se miješaju sa otvrdnjivačem, pigmentima, aditivima i ostalim sastojcima unutar mješalice,
2. nakon miješanja, nastala smjesa se grije i ekstrudira u ekstruderu,
3. pri izlazu iz ekstrudera mješavina se hladi i lomi se na manje dijelove,
4. odlomci se melju u sitni prah, te se prosijavaju kroz sita kako bi se odvojio prah koji ima čestice željene veličine.

6. ELEKTROSTATSKO NAPRAŠIVANJE

Elektrostatsko naprašivanje je postupak nanošenja polimerne prevlake na metalne predmete ili druge električki vodljive predmete. Postupak se provodi nanošenjem električki nabijenog polimernog praha na željeni predmet, nakon čega slijedi postupak taljenja unutar peći te hlađenja nakon čega se stvara zaštitna prevlaka na površini predmeta, [1].

6.1. Prednosti elektrostatskog naprašivanja

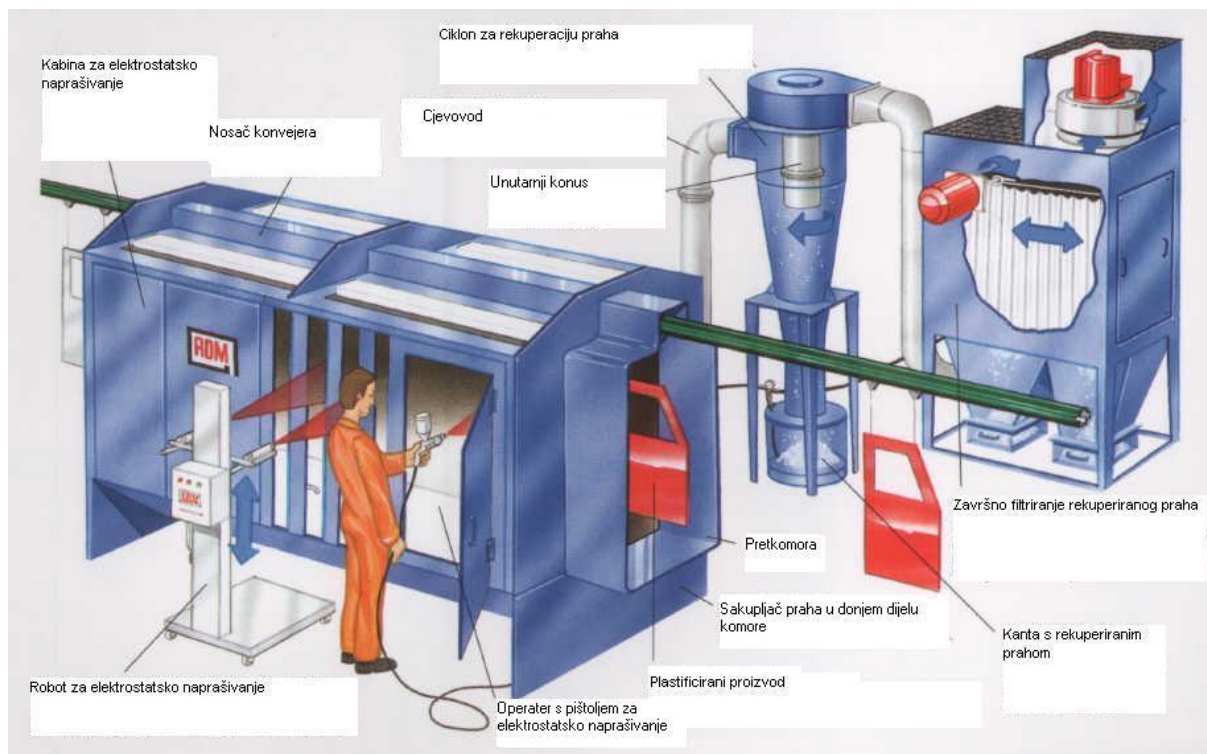
Pri elektrostatskom naprašivanju se ne koristi otapalo niti razrjeđivač za razliku od premaza kojima su oni potrebni kako bi vezivo i punilo bili u tekućem obliku, tj. kako ne bi došlo do preranog otvrdnjavanja premaza. S obzirom na to da otapala i razrjeđivači često sadrže lako hlapljive ugljikovodike i druge sastojke koji lako mogu doći u okoliš, a štetna su za ljudsko zdravlje i ekosustav, najbolje ih je izbjegavati u što je moguće većoj mjeri. Kako se elektrostatskim naprašivanjem ne ispuštaju produkti koji štete okolišu, može se reći da je elektrostatsko naprašivanje ekološki povoljan postupak, za razliku od postupaka kao što su ličenje bojama i lakovima. Otpadne tvari koje se stvaraju elektrostatskim naprašivanjem znatno su manje opasne od otpadnih tvari koje se stvaraju nanošenjem tekućih boja i lakova, [16].

Elektrostatskim naprašivanjem mogu se postići znatno deblji slojevi u usporedbi s ličenjem tj. nanošenjem premaza. S obzirom na to da se premazi nanose u tekućem stanju nanošenje debljeg sloja premaza rezultiralo bi otjecanjem „curenjem“ premaza s površine koja se želi zaštititi. Ako bi se premazom željelo postići deblji sloj, bilo bi potrebno čekati da se prvi sloj premaza osuši, a tek onda nanijeti idući sloj premaza. Taj proces se ponavlja sve dok se ne postigne željena debljina premaza. S obzirom da je potrebno čekati da s premaz osuši, postupak ličenja je dosta dugotrajan i spor. Kod elektrostatskog naprašivanja prah se nanosi samo jednom, [1].

Prašak koji se ne zalijepi na površinu obratka i ostane neiskorišten, može se ponovno iskoristiti pri slijedećem elektrostatskom naprašivanju. Obično na kraju postupka elektrostatskog naprašivanja ostane do 20% neiskorištenog praha, te se ponovnom upotrebom tog praha izbjegavaju nepotrebni financijski gubici, kao i nepotrebno stvaranje otpada, [16].

Troškovi linije za elektrostatičko naprašivanje znatno su manji od troškova linije za nanošenje tekućih premaza, [16].

Linija za elektrostatsko naprašivanje prikazana je na slici 11.



Slika 11. Linija za elektrostatsko naprašivanje, [17]

Elektrostatskim naprašivanjem je širok raspon vizualnih efekata koje nije moguće ostvariti drugim postupcima i to vrlo jednostavno – tako da se primjeni odgovarajući prašak za željeni efekt, [16].

6.2. Nedostaci elektrostatskog naprašivanja

Nedostaci elektrostatskog naprašivanja vidljivi su pri nanošenju tanjih filmova na površinu obratka. Iako je za deblje presvlake jednostavno postići glatku i ravnomjernu debljinu sloja, za veoma tanke prevlake je to nešto teže postići. Što je debljina sloja tanja, sve više dolazi do izražaja efekt „narančine kore“ na teksuri površine koja se obrađuje elektrostatičkim naprašivanjem.

S obzirom na to da je veličina čestica u većini praškova koji se koriste za elektrostatsko naprašivanje 30 – 50 μm , potrebno je nanijeti sloj debljine veće od 50 μm kako bi se izbjegao efekt „narančine kore“ i dobio zadovoljavajući površinski film. S povećanjem debljine nanesenog sloja glatkoća prevlake raste, [16].

S obzirom na to da je postupak osjetljiv na vjetar, kišu i ostale atmosferske uvjete elektrostatičko naprašivanje se provodi u zatvorenoj ličionici unutar zatvorenih kabina. Zatvorene kabine su potrebne, osim zbog osjetljivosti postupka, i zbog toga da se neiskorišteni prah može rekuperirati i ponovno iskoristiti, [16].

Također postoji opasnost od eksplozije, zbog zapaljivosti „plastičnog“ praha i prisutnosti kisika prilikom cijelog postupka, što također zahtijeva dodatne mjere opreza, [16].

Zbog skupih zahtjeva za zatvorenim ličionicom i posebnih mjera zaštite od eksplozije uvođenje postupka elektrostatskog naprašivanja zahtijeva prilično veliku investiciju, te se isplati samo za uređaje velikog kapaciteta, [16].

6.3. Proces elektrostatičkog nanošenja

Proces elektrostatičkog nanošenja se sastoji od sljedećih koraka:

1. priprema površine dijela koji će se obrađivati elektrostatičkim nanošenjem,
2. nanošenja praška,
3. sušenje i polimerizacija.

6.3.1. Priprema površine

Priprema površine se primjenjuje iz dva razloga – prvi je čišćenje površine od nečistoća, a drugi je da se olakša vezanje praškastog materijala na obradak (supstrat), [16].

Nekad se, ovisno o primjeni dijela koji se plastificira, može nakon pripreme površine, a prije nanošenja praška, vršiti i fosfatiranje. To se najčešće koristi u automobilske industriji i za obratke od kojih se zahtijevaju visoke performanse, [16].

Priprema površine se obavezno provodi svaki put prije plastifikacije, a sastoji se od odstranjivanja ulja, pljavštine, masti za podmazivanje, metalnih oksida i ostalih nečistoća.

Postoji više metoda odstranjivanja nečistoća s površine obrađivanog materijala, a koju od tih metoda odabrati ovisi o vrsti nečistoće koju je potrebno odstraniti. Priprema površine može biti kemijska i mehanička, [16].

Kemijska priprema površine se sastoji od odmašćivanja, jetkanja, odstranjivanja mrlja, višestrukih ispiranja, te na kraju se izvodi fosfatiranje ili kromiranje površine, [16].

Mehanička metoda čišćenja površine se sastoji od obrade mlazom abraziva, pjeskarenja ili sačmarenja. Kod mehaničkih postupaka čišćenja površine najvažnije je odrediti vrstu abraziva, gustoću mlaza abraziva, veličinu i oblik čestice ovisno o otpornosti obratka na udar abraziva, [16].

Granule silikon karbida, koje se koriste kao abrazivno sredstvo su krhke, oštre te se koriste za pripremu površina metala, kao i nemetala male vlačne čvrstoće, [16].

Plastični abrazivni medij se koristi za osjetljive supstrate kao što je aluminij, [16].

Sačma od lijevanog čelika i čelične granule također se mogu koristiti za pripremu površine prije elektrostatičkog nanošenja. Prednost korištenja čelične sačme je u tome što se ona može ponovno upotrijebiti čime se vrši manji negativni utjecaj na okoliš od ostalih abrazivnih medija. Čeličnu sačmu i čelične granule najbolje je upotrebljavati za pripremu čeličnih dijelova, [16].

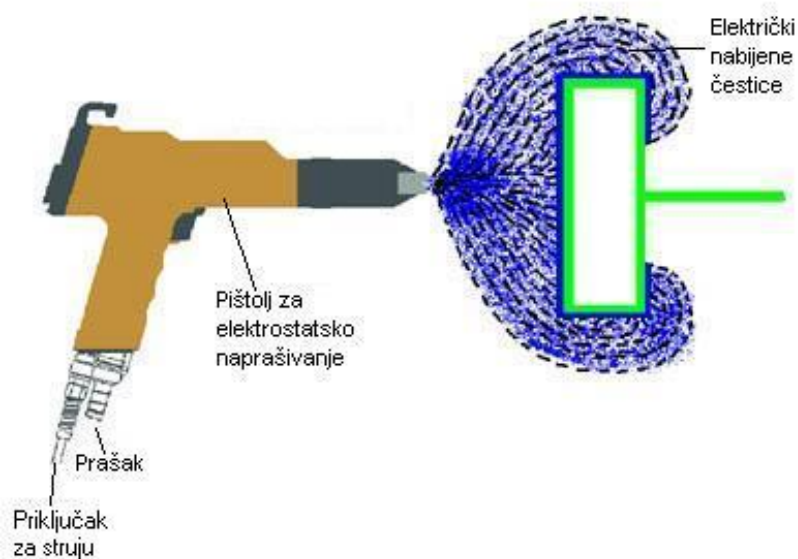
Kao abrazivni medij se mogu koristiti još i pijesak te staklene kuglice raznih veličina, [16].

6.3.2. Nanošenje praška

Nanošenje praha na supstrat obično se vrši posebnim elektrostatskim pištoljem („corona“ pištolj), [16].

Shematski prikaz pištolja za elektrostatsko naprašivanje, njegovi priključci i način rada prikazan je na slici 12.

Operater pri radu prilikom izvođenja elektrostatskog naprašivanja prikazan je na slici 13.



Slika 12. Pištolj za elektrostatsko naprašivanje, [18]



Slika 13. Operater pri radu prilikom izvođenja elektrostatskog naprašivanja, [19]

Prolaskom kroz pištolj prah se miješa sa zrakom pod pritiskom te se prašak negativno električki nabija i u struji komprimiranog zraka putuje van iz pištolja. Pištolj je potrebno usmjeriti prema predmetu na koji se želi elektrostatski nanijeti prah. Kako bi se prah zadržao na obratku uz pomoć elektrostatskih sila, obradak je potrebno uzemljiti, [16].

Postoji više vrsta sapnica koje se mogu montirati na pištolj, a koju vrstu sapnice odabрати ovisi o obliku i veličini obratka te vrsti praška koji se koristi, [16].

Osim „corona“ pištolja, koriste se i „tribo“ pištolji koji prah pozitivno električki nabijaju, [16].

Električno nabijanje praška kod „tribo“ pištolja se vrši tako da se prah prolaskom kroz teflonsku cjevčicu trenjem električki nabija te se izlaskom iz pištolja prah lijepi na obradak, [16].

Prašak se također može nanijeti i elektrostatskim nanošenjem uz pomoć fluidiziranog kreveta. Postupak se sastoji od uranjanja predgrijanog obratka u uskovitlani sloj praha koji nastaje propuhivanjem zraka ili dušika kroz keramički filter na dnu posude u kojoj se nalazi polimerni prah. Za 5-10 sekundi se na obratku taljenjem oblikuje zaštitna prevlaka. Što je temperatura predgrijanog obratka i toplinski kapacitet obratka veći to će biti deblji zaštitni sloj. Osim propuhivanja fluidni sloj se može dobiti i vibracijama posude s polimernim prahom, [1].

6.3.3. Temperaturno otvrdnjavanje

Stvaranje zaštitnog filma na površini obratka je zadnji korak u postupku elektrostatičkog nanošenja. Polimerizacija se vrši tako da se predmet na koji je nanesen polimerni prah stavi u peć gdje se grije na temperaturu 180-250 °C. Na toj temperaturi dolazi do taljenja polimernog praha, te se hlađenjem rastaljeni polimer skrućuje i stvara se prevlaka od polimernog materijala na obratku. Ukoliko se koristi duromerni prah, treba se obaviti i kemijsko otvrdnjavanje. Tako nastali polimerni sloj može biti debljine 0,05- 1,5 mm, [1].

Ukoliko se koristi metoda plastifikacije uz pomoć fluidiziranog kreveta, predmet se ne stavlja u peć, nego se zaštitni sloj stvara direktno u fluidiziranom krevetu, [1].

6.3.4. Oprema

Oprema za elektrostatsko nanošenje se sastoji od pištolja za elektrostatsko nanošenje, spremnika praška koji može biti ugrađen u pištolj i izvora istosmjerne struje. Naponi kojima se električki nabija prašak su istosmjerni naponi do 100 kV, a jakost struje može varirati od 5 do 160 μA . Pištolj je, osim na izvor struje, priključen i na izvor komprimiranog zraka. Tlak zraka u pištolju može varirati od 6 do 8 bara. Protok praška je obično od 2 do 6 m^3/h , ali može biti i do 12 m^3/h , [20].

Oprema za elektrostatsko naprašivanje koja se sastoji od pištolja, spremnika za prašak i izvora struje je prikazana na slici 14.



Slika 14. Oprema za elektrostatsko naprašivanje, [21]

6.4. Smjerovi razvoja elektrostatičkog nanošenja

Jedan od glavnih nedostataka u primjeni praškastih prevlaka je u tome da je za toplinsko otvrdnjavanje praškastog materijala potrebna jako velika količina energije.

Budućnost razvoja ove tehnologije je u praškovima koji otvrdnjavaju pri nižoj temperaturi. Takvi praškovi će se moći primjenjivati na supstratima koji su osjetljivi na visoke temperature, a postupak plastifikacije će teći brže, jer će se čekanje da se prah zagrije na temperaturu pri kojoj se odvija temperaturno otvrdnjavanje znatno smanjiti. Korištenje ovakvih prašaka za elektrostatsko naprašivanje dovesti će do značajnih vremenskih ušteda te do velikih energetske ušteda, [22].

Praškaste prevlake mogu otvrdnjavati i uz pomoć UV svjetla što također može dovesti do velikih energetske, a kao posljedica toga i financijske ušteda. Također se razvijaju praškovi koji će se moći nanositi u tanjem sloju nego što je to danas slučaj. Povećanjem energetske ušteda i smanjenjem količine materijala praškovi za elektrostatsko naprašivanje će u budućnosti biti i više ekološki prihvatljivi nego što su danas, [23].

7. ELEKTROSTATSKI NANESENE EPOKSIDNE PREVLAKE NA ALUMINIJU

Aluminij je potrebno dodatno zaštititi u slučaju da postoji mogućnost dodira s lužnatim medijem, u slučaju kontakta sa solima teških metala, te ukoliko su u mediju prisutni aktivni anioni (npr. kloridi).

7.1. Nedostaci aluminijskog pasivnog filma

Prisutnost lužnatog medija vuče za sobom opasnost od uništavanja zaštitnog sloja aluminijevog oksida Al_2O_3 što može dovesti do ubrzane korozije aluminija.

7.2. Razlozi korištenja elektrostatski nanesenih epoksidnih premaza

Epoksidne smole čine odličnu zaštitu prvenstveno zbog svoje kemijske otpornosti, svoje temperaturne otpornosti i otpornosti na vlagu. One štite metal stvarajući nepropusnu barijeru između aluminija i korozivnog medija prisutnog u okolini, [3].

7.3. Svojstva aluminija zaštićenog elektrostatski nanesenom epoksidnom prevlakom

Epoksidne smole u praškastim premazima obično su proizvedene iz epoksi kresola koji ima veću otpornost na abraziju od ostalih epoksidnih smola, ali ima manju fleksibilnost i žilavost. Iz tog razloga epoksidne praškasto nanese prevlake se koriste za prevlačenje predmeta kod kojih ne dolazi do elastičnog savijanja i torzije za vrijeme upotrebe (npr. kućanski aparati, vrtni namještaj itd.), te ih nije preporučljivo koristiti za zaštitu predmeta koji su neprestano izloženi savojnom i torzijskom opterećenju poput brodova i avionskih krila, [3, 24].

Prije nanošenja praškastog premaza, površina aluminija se mora dobro očistiti od svih nečistoća, nakon čega se sačmari plastičnim granulama kako bi se stvorila gruba površina na koju će se rastaljeni premaz dobro prihvatiti. Zbog dobrog prijanjanja zaštitne prevlake za površinu aluminija, predmeti zaštićeni praškastim premazima su u puno manjoj mjeri skloni filiformnoj koroziji od predmeta koji su zaštićeni običnim premazima, [3].

Praškasti premazi ne sadrže otapala za razliku od običnih premaza, a s obzirom da se u otapalima nalaze lako hlapljivi ugljikovodici koji su štetni za okoliš, upotrebom praškastih premaza čuva se i okoliš. Kako praškasti premazi ne ispuštaju hlapive organske spojeve oni udovoljavaju standardima o ispuštanju štetnih spojeva, [3].

Kako je prevlaka od praškastog premaza velike tvrdoće, manja je vjerojatnost da će doći do ogrebotina i ostalih abrazivnih oštećenja i time se smanjiti zaštitna funkcija premaza te izlaganje aluminijske površine korozivnom mediju. To je posebno bitno kod aluminijskih legura, koje su pod velikom opasnošću od korozije zbog neujednačenosti pasivnog filma i prisutnosti više faza u mikrostrukturi čime se povećava opasnost od jamičaste korozije - pittinga. S obzirom na to da epoksidna prevlaka štiti površinu aluminijske legure od dodira s elektrolitom, ne može doći do pojave lokalnog galvanskog članka na površini aluminijske legure čime se značajno smanjila mogućnost pojave pittinga, [3].

Ovakve premaze treba izbjegavati za korištenje na direktnom UV svjetlu, jer će u suprotnom doći do kredanja ili žućenja epoksidne smole.

7.4. Primjena aluminijske zaštićene elektrostatski nanosnom epoksidnom prevlakom

Primjenjuje se za dekorativne svrhe i za zaštitu od korozije. To su najčešće:

- kućanski aparati,
- za aluminijske ekstruzije,
- dijelovi za automobile,
- dijelovi za bicikle,
- uredski namještaj,
- vrtni namještaj,
- razni profili,
- žičani proizvodi.

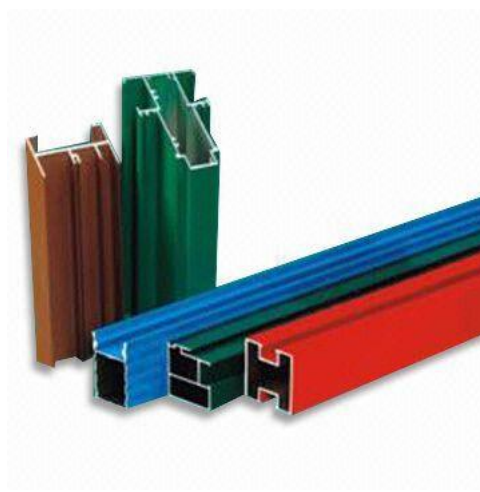
Ukoliko se zaštićeni materijal koristi na otvorenom, gdje je direktno izložen suncu i UV zračenju, epoksidni premaz je potrebno dodatno zaštititi još jednim slojem premaza koji je otporan na UV zračenje kako bi se izbjeglo kredanje i žućenje epoksidnog premaza.

U posljednjih desetak godina praškaste prevlake se sve više koriste u autoindustriji.

Danas se koriste za dijelove koji se nalaze ispod karoserije automobila i nisu izloženi sunčevoj svjetlosti i UV zračenju. Kod luksuznijih automobila praškaste prevlake se koriste i za završni sloj, jer koriste specijalne pigmente sa atraktivnim bojama te imaju razne vizualne efekte.

Zbog svoje trajnosti i otpornosti prema koroziji praškaste prevlake se koriste za vrtni namještaj te poljoprivrednu opremu i mehanizaciju. Također se može očekivati da će se praškaste prevlake, zbog svojih brojnih prednosti, sve više koristiti na novim tržištima poput solarnih elektrana i vjetroelektrana, [25].

Na slici 15. prikazani su primjeri plastificiranih aluminijskih profila. Slika 16. prikazuje primjenu elektrostatski zaštićenog aluminija u autoindustriji.



Slika 15. Plastificirani aluminijski profil, [26]



Slika 16. Plastificirano kućište motora automobila, [27]

8. EKSPERIMENTALNI DIO

8.1. Priprema uzoraka

Plastifikacija uzoraka elektrostatskim naprašivanjem je izvedena u postrojenju obrta za galvaniziranje, cinčanje, pjeskarenje i plastifikaciju Iveković u Svetoj Nedjelji.

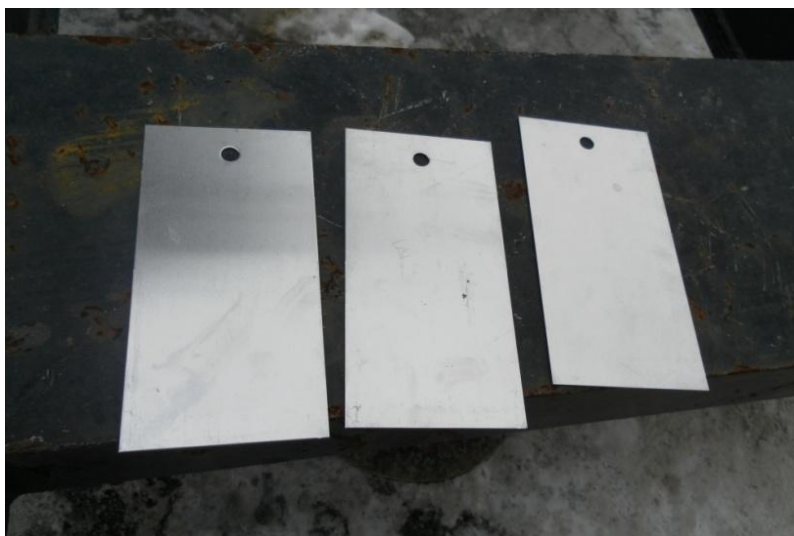
Priprema uzoraka je vršena po Qualicoat normi „Specification for a quality label for liquid and powder organic coatings on aluminium for architectural applications“, br. 13., 2012., [28].

U Qualicoat normi su dana uputstva i minimalni zahtjevi koje postrojenje treba zadovoljiti kako bi se mogla ostvariti zadovoljavajuća kvaliteta prevlake.

Qualicoat norma je posebno izrađena za primjenu u građevini i arhitekturi i to posebno za aluminij i aluminijske legure.

Po Qualicoat normi aluminijske pločice koje se koriste kao uzorci moraju biti izrađeni od aluminijskih legura AA5005-H24, AA5005-H14, AA6060 ili AA6063. Legure AA5005-H24 i AA5005-H14 se koriste za mehanička ispitivanja, dok se legure AA6060 i AA6063 koriste za korozijska ispitivanja. Dimenzije pločice su također specificirane u Qualicoat normi - visina pločice mora biti 200 mm, dok širina pločice može biti između 70 mm i 100 mm. Debljina pločice mora biti između 0,8 i 1 mm, [28].

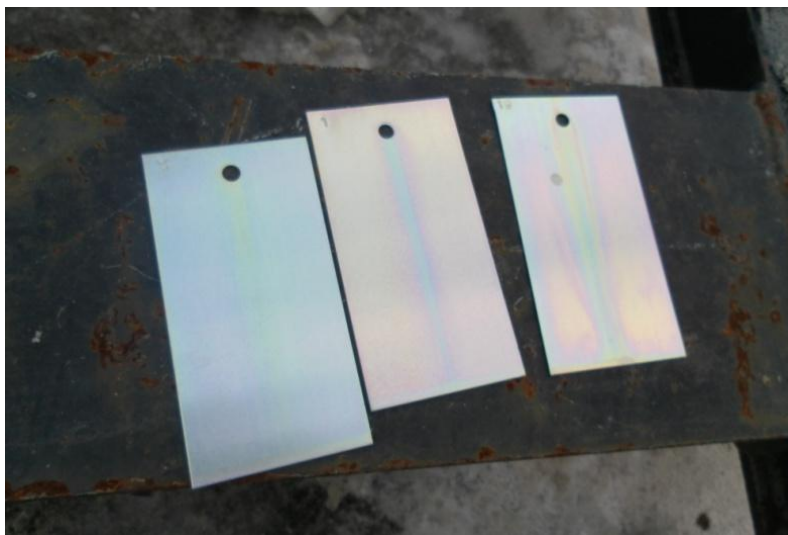
Aluminijske pločice koje se prevlače i koriste kao uzorci moraju biti bez tragova korozije i ne smiju na sebi imati anodni ili organski zaštitni sloj. Također ne smiju imati nikakvih nečistoća, a posebno silikonskih lubrikanata. Aluminijske pločice u početnom stanju prikazane su na slici 17.



Slika 17. Aluminijski uzorci u početnom stanju, [13]

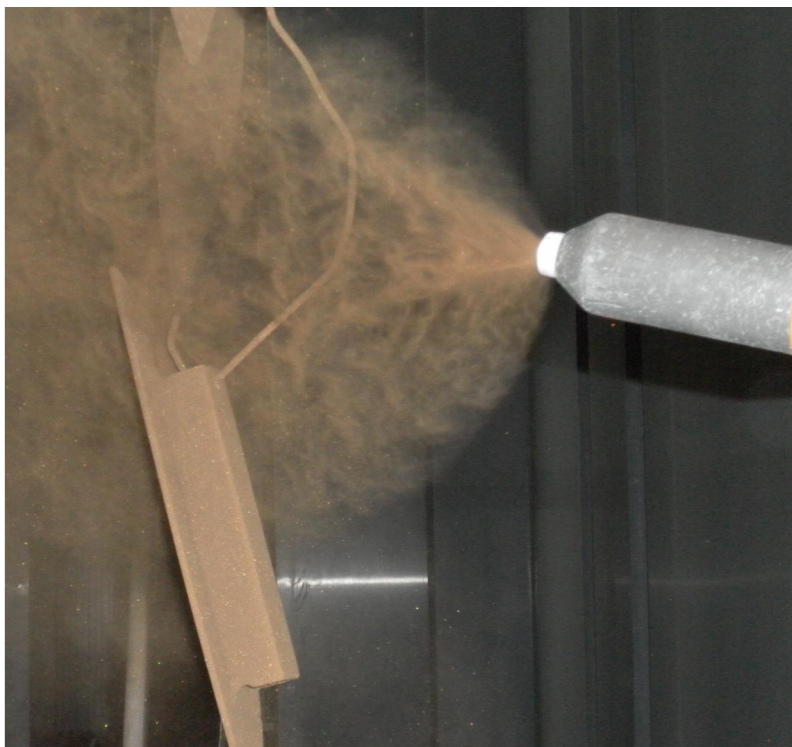
Kako bi se površina aluminijske o čistila od nečistoća, potrebno ju je jetkati (nagristi) u kiselini. Kako bi se osiguralo da je površina aluminijske dovoljno očišćena, uzorak je potrebno izvagati prije i poslije jetkanja. Nakon jetkanja težina uzorka treba biti manja za 1 g/m^2 .

Nakon jetkanja uzorak se ispiru kako bi se odstranila kiselina koja je ostala na uzorku. Poslije ispiranja uzorka slijedi kromatiranje površine. Kromatiranjem je uzorak dobio žutu zaštitnu prevlaku koja ga štiti od korozije. Za ispiranje nakon kromatiranja koristila se demineralizirana voda kojoj vodljivost ne smije prelaziti $30\text{ }\mu\text{S/cm}$ pri $20\text{ }^\circ\text{C}$. Uzorak se vagao prije i poslije kromatiranja, te kako bi se ostvarila zadovoljavajuća zaštitna svojstva predmet mora dobiti $0,6\text{--}1,2\text{ g/m}^2$. Nakon ispiranja predmet je zagrijan na temperaturu od $65\text{ }^\circ\text{C}$ kako bi se osušio. Zaostala vlaga bi prouzrokovala smetnje prilikom naprašivanja pa je iz tog razloga važno dobro osušiti predmet koji se naprašuje. Uzorci nakon kromatiranja prikazani su na slici 18.



Slika 18. Aluminijske pločice nakon kromatiranja, [13]

Postupak naprašivanja je vršio operater u posebnoj kabini uz pomoć pištolja za naprašivanje. S obzirom na to da su uzorci bili uzemljeni preko kuka na kojima su visjeli, električno nabijeni polimerni prašak se lijepio za uzorke. Uzorci su se naprašivali epoksidnim praškom i poliuretanskim praškom. Nanošenje praškaste prevlake na površinu obratka je prikazano na slici 19. Komora za elektrostatsko nanašanje u postrojenju Iveković je prikazana na slici 20.



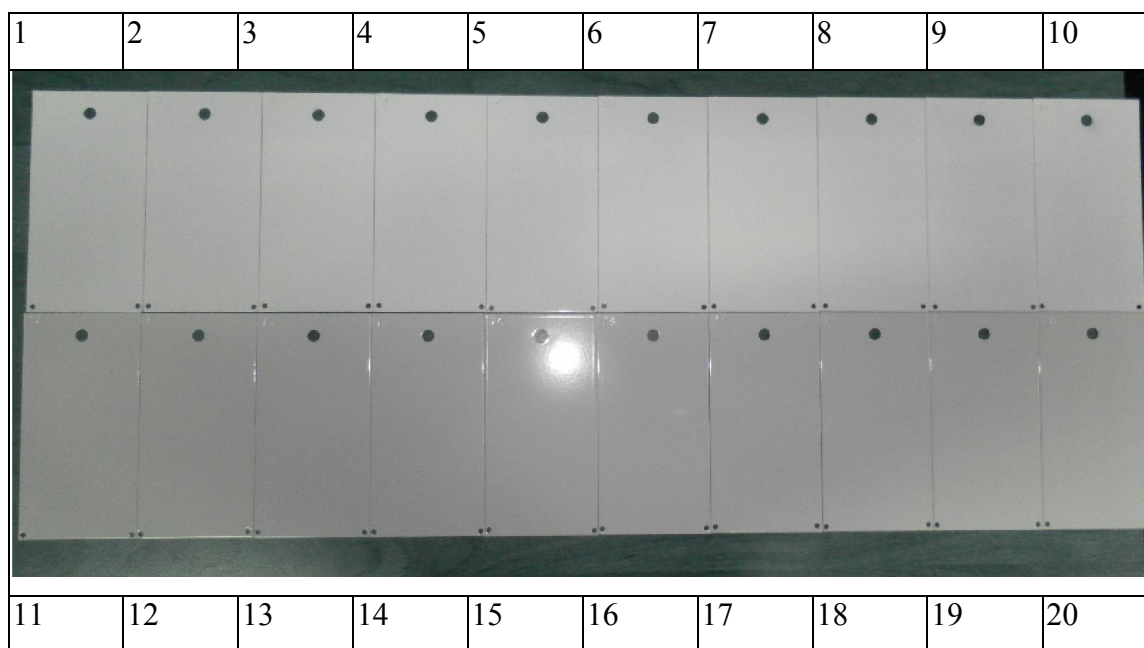
Slika 19. Nanošenje praškaste prevlake na površinu obratka, [13]



Slika 20. Komora za elektrostatsko nanašanje u postrojenju Iveković, [13]

Otvrdnjavanje se vršilo u peći za otvrdnjavanje. Pri visokim temperaturama u peći polimerni prah se tali, a hlađenjem se ta taljevina skrućuje čineći kompaktnu zaštitnu prevlaku.

U postrojenju je napravljeno ukupno 20 uzoraka, od kojih je 10 uzoraka napravljeno s epoksidnom prevlakom, a 10 uzoraka je sa poliuretanskom prevlakom. Svi uzorci koji će se koristiti za eksperimentalni dio diplomskog rada prikazani su na slici 21. Kako bi se olakšala identifikacija pojedinog uzorka, svaki uzorak je označen brojem od 1 do 20. Brojevima od 1 do 10 su označeni uzorci s epoksidnom prevlakom, dok su brojevima od 11 do 20 označeni uzorci s poliuretanskom prevlakom.



Slika 21. Uzorci pripremljeni za laboratorijska ispitivanja u diplomskom radu, [13]

8.2. Plan pokusa

Svrha ovog eksperimenta je usporediti zaštitna svojstva između epoksidne i poliuretanske prevlake. Eksperiment se sastoji od ispitivanja mehaničkih svojstava prevlake te od ispitivanja otpornosti na koroziju. Ispitivanja su provedena u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Mehanička ispitivanja se sastoje od ispitivanja prionjivosti prevlake za podlogu te ispitivanja mehaničkih svojstava prevlake poput tvrdoće, elastičnosti i otpornosti na udar. Također određen je i sjaj prevlake.

Korozijskim ispitivanjima je utvrđeno ponašanje prevlake u različitim atmosferama. Ispitivanja koja se provode su takvog karaktera da neka od ispitivanja zahtijevaju veći broj uzoraka, a neka testiranja su takva da se može izvršiti više različitih testiranja na jednom uzorku. Kako bi rad s velikim brojem uzoraka i ispitivanja bio što pregledniji napravljen je plan pokusa koji je prikazan je na tablici 2.

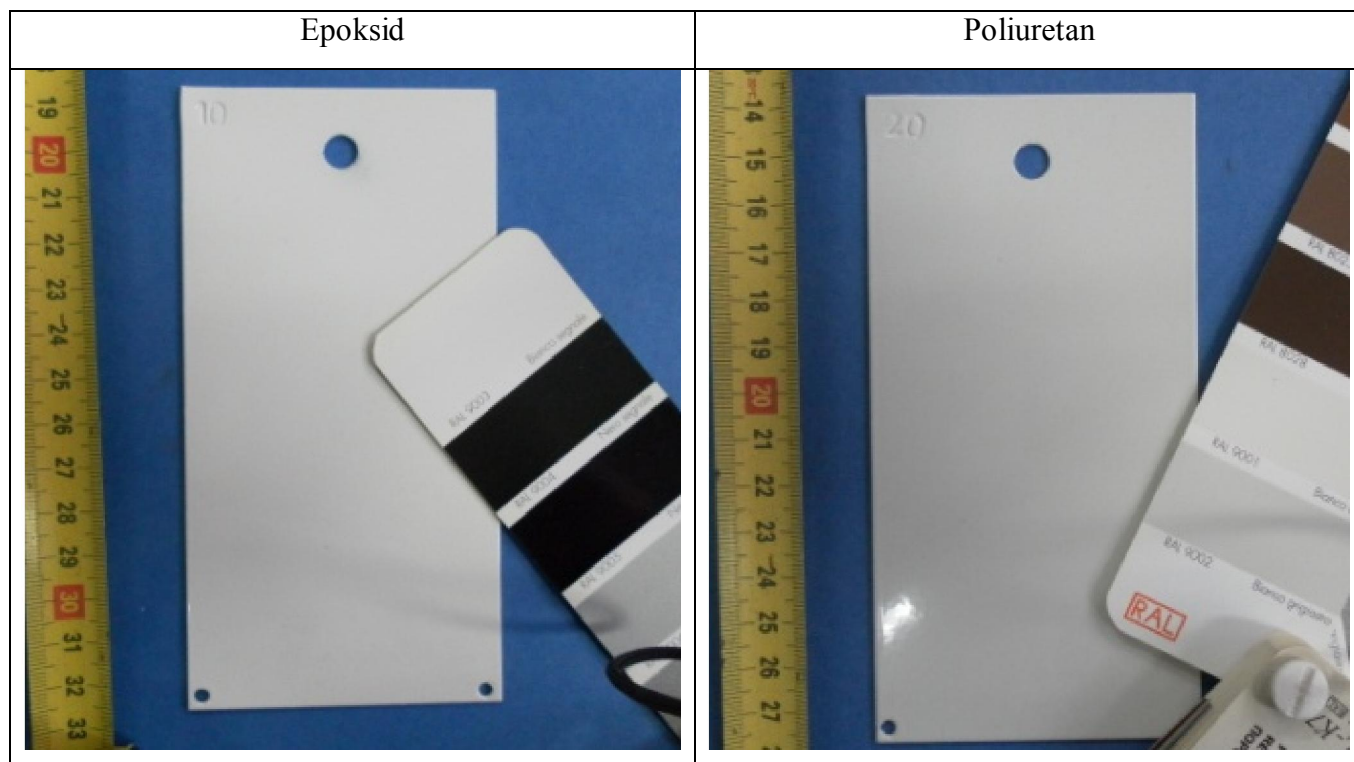
Tablica 2. Plan pokusa

| Broj pločice s epoksidnom prevlakom | Broj pločice s poliuretanskom prevlakom | Ispitivanje | ISO norma |
|-------------------------------------|---|--|------------|
| 1 | 11 | Sjaj | ISO 2813 |
| | | Udar | ISO 6272 |
| | | Elastičnost | ISO 1520 |
| 2 | 12 | Otpornost na morsku atmosferu (slana komora) | ISO 9227 |
| 3 | 13 | | |
| 4 | 14 | | |
| 5 | 15 | Otpornost na vlagu (vlažna komora) | ASTM B117 |
| 6 | 16 | | |
| 7 | 17 | | |
| 8 | 18 | Otpornost na UV zračenje (UV komora) | ISO 4892-2 |
| 9 | 19 | Prionjivost | ISO 2409 |
| | | Tvrdoća | ISO 15184 |
| 10 | 20 | Etalon za UV komoru | |

8.3. RAL ispitivanje

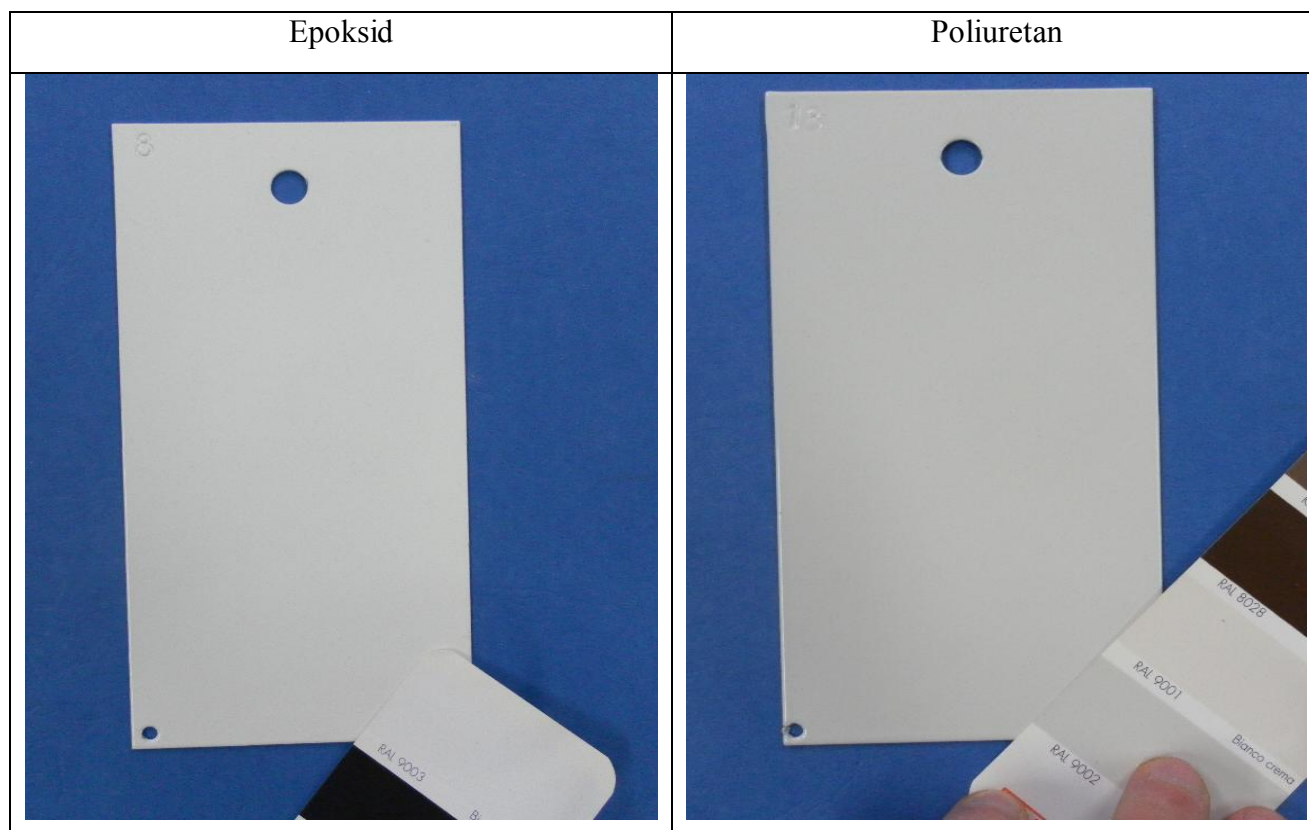
RAL (njem. Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen) ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Kako bi se odredila točna boja i nijansa prevlake provodi se testiranje uz pomoć RAL karte. Ispitivanje se provodi tako da se boje s RAL karte uspoređuju s prevlakom na uzorcima. Ukoliko se boja uzorka poklapa s bojom na RAL karti, tada se očita šifra boje s RAL karte. Ispitivanjem je utvrđeno da uzorci s epoksidnom prevlakom imaju RAL vrijednost 9002, dok uzorci s poliuretanskom prevlakom imaju RAL vrijednost 9003. Postupak ispitivanja uz pomoć RAL karata prikazan je na slici 22.



Slika 22. Testiranje uz pomoć RAL karte, [13]

Nakon 365 sati ispitivanja u UV komori na uzorcima je ponovno izvršen RAL test, a postupak ispitivanja je prikazan na slici 23.



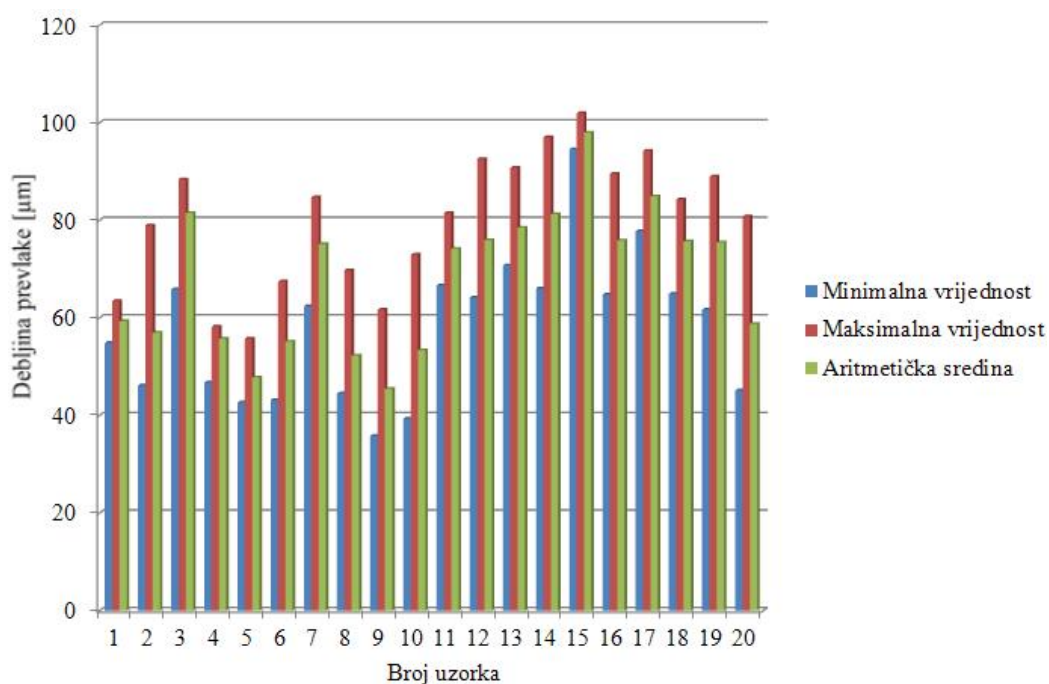
Slika 23. Testiranje uz pomoć RAL karte nakon ispitivanja u UV komori, [13]

8.4. Mjerenje debljine prevlake

Mjerenje debljine prevlake provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB, u Zagrebu. Mjerenje debljine premaza izvršeno je po normi EN ISO 2360. Mjerenje je provedeno na svim uzorcima. Za mjerenje je korišten uređaj QuaNix 1500 koji radi na principu vrtložnih struja ili magnetizma. Postupak mjerenja debljine prevlake prikazan je na slici 24. Na svakom uzorku izvršeno je 20 mjerenja, te je izračunata minimalna, maksimalna i aritmetička sredina debljine premaza za svaki uzorak. Izmjerene vrijednosti debljine prevlake dane su u grafikonu na slici 25.



Slika 24. Mjerenje debljine prevlake uređajem QuaNix 1500, [13]



Slika 25. Izmjerene debljine prevlake na uzorcima

Nakon mjerenja debljine prevlake, vidljivo je da je epoksid nanešen u tanjem sloju nego poliuretan.

8.5. Ispitivanje sjaja

Ispitivanje sjaja prevlake je provedeno u tvrtci „Chromos boje i lakovi d.d.“ u Zagrebu. Ispitivanja su provedena na uzorcima br. 1 i 11, sukladno normi ISO 2813.

Cilj mjerenja sjaja je određivanje koliko se svjetlosti koja padne na reflektiranu površinu odbije od površine bez raspršivanja svjetlosnog toka.

Uređaj za mjerenje sjaja, prikazan na slici 26., je načinjen od izvora svjetlosti i detektora svjetlosti koji su postavljeni pod kutem od 20° , 60° i 85° . Prilikom provedenog ispitivanja na uzorcima br. 1 i 11 uređaj za mjerenje je imao izvor svjetlosti postavljen na 60° od površine uzorka.



Slika 26. Uređaj za mjerenje sjaja

Prilikom mjerenja sjaja zapravo se mjeri omjer svjetlosnog toka koji se reflektira od površine uzorka na kojem se mjeri sjaj i svjetlosnog toka koji je predao izvor svjetlosti.

Vrijednost sjaja 0% odgovara savršenoj mat površini, dok vrijednost sjaja 100% odgovara savršenoj zrcalnoj površini.

Ispitivanjem je utvrđeno da je uzorak s prevlakom od epoksida imao vrijednost sjaja 86,5%, dok je uzorak s poliuretanskom prevlakom imao vrijednost od 83 do 86%.

Iz rezultata ispitivanja se može zaključiti da epoksidna prevlaka ima veću vrijednost sjaja, iako je razlika u sjaju između ispitane epoksidne i poliuretanske prevlake jako mala.

8.6. Ispitivanje otpornosti na udar

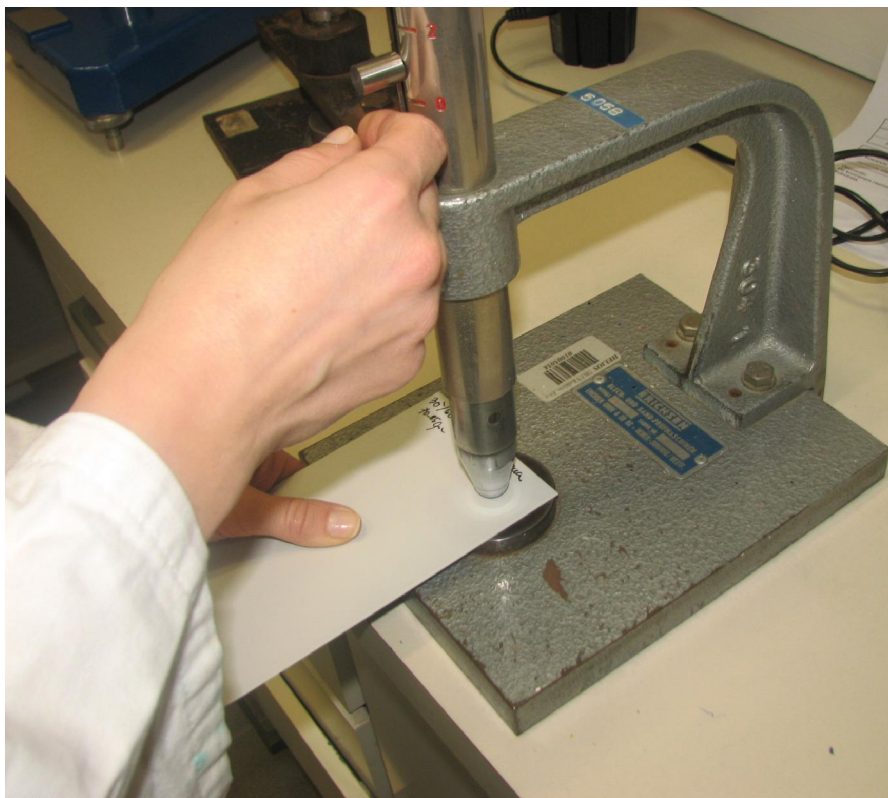
Ispitivanje otpornosti na udar provedeno je u tvrtci „Chromos boje i lakovi d.d.“ u Zagrebu. Cilj ispitivanja je utvrditi otpornost prevlake na udarno opterećenje, tj. vidjeti u kojem trenutku će doći do pucanja prevlake ili odvajanja prevlake od površine podloge koja se deformirala pod udarnim opterećenjem, sukladno normi ISO 6272. Ispitivanje je provedeno na uzorcima br. 1 i 10.

Ispitivanje se provodi uz pomoć utega koji, vođen u vertikalnoj cijevi, slobodnim padom okomito pada na površinu uzorka s određene visine. Uteg za ispitivanje otpornosti na udarno opterećenje izrađen tako da glava utega koja udara u površinu uzorka ima sferni oblik promjera 20 mm. Težina utega je 1000 g.

Ispitivanje se provodi na sljedeći način:

1. Uteg se podigne na visinu na kojoj se očekuje da neće doći do oštećenja prevlake, te se ispušta sa te visine da pada slobodnim padom.
2. Nakon pada promatra se uzorak kako bi se vidjelo da li je došlo do oštećenja prevlake.
3. Ukoliko nije došlo do oštećenja prevlake uteg se dodatno podiže za 25 mm.
4. Postupak se ponavlja sve do pojave oštećenja prevlake.

Maksimalna visina u cm pri kojoj nije došlo do oštećenja prevlake se označuje kao mjera otpornosti na udar. Uređaj za ispitivanje otpornosti na udar prikazan je na slici 27.



Slika 27. Uređaj za ispitivanje otpornosti na udar, [13]

Maksimalna visina pri kojoj nije došlo do oštećenja epoksidne prevlake je 50 cm, dok je kod uzoraka s poliuretanskom prevlakom ta visina 20 cm. Ovo ispitivanje pokazuje da epoksidna prevlaka ima znatno veću otpornost na udarno opterećenje od poliuretanske prevlake.

8.7. Ispitivanje elastičnosti

Ispitivanje elastičnosti prevlake je provedeno u tvrtci „Chromos boje i lakovi d.d.“ u Zagrebu. Ispitivanje je provedeno na uzorcima br. 1 i 10.

Cilj ispitivanja je vidjeti koliku deformaciju podloge može izdržati prevlaka, a prije nego što dođe do pucanja prevlake. Ispitivanje je provedeno sukladno normi ISO 1520, a provodi se tako da se trn utiskuje u uzorak, dok se istovremeno s druge strane uzorka promatra da li je došlo do pucanja prevlake. Trn, koji je kuglastog oblika promjera 20 mm, se utiskuje sve više sve do trenutka kada dođe do pucanja prevlake. Elastičnost prevlake se označava dubinom u mm do koje je utisnut ispitni trn prije nego što je došlo do pucanja prevlake.

Ispitivanjem je utvrđeno da uzorak s prevlakom od epoksida ima elastičnost 7,7 mm, dok uzorak s poliuretanskom prevlakom ima elastičnost 7,6 mm.



Ispitivanje pokazuje da epoksidna prevlaka ima malo veću elastičnost od poliuretanske.

Uređaj za ispitivanje elastičnosti prevlake je prikazan na slici 28.

Uzorci nakon ispitivanja elastičnosti prevlake i nakon ispitivanja otpornosti na udar su prikazani na slici 29.



Slika 28. Uređaj za ispitivanje elastičnosti prevlake, [13]

| | Epoksid | Poliuretan |
|--|---|--|
| Uzorak nakon ispitivanja elastičnosti i otpornosti na udar |  |  |

Slika 29. Uzorci nakon ispitivanja elastičnosti i otpornosti na udar, [13]

8.8. Ispitivanje otpornosti na morsku atmosferu (slana komora)

Ispitivanje otpornosti na slanu atmosferu provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB, u Zagrebu. Kako bi se ispitala otpornost prevlaka na morsku atmosferu provedeno je ispitivanje uzoraka u slanoj komori. Ispitivanje je provedeno sukladno normi ISO 9227. U ovom ispitivanju koristili su se uzorci br. 2, 3, 4, 12, 13 i 14. Postupak ispitivanja se odvijao u slanoj komori marke Ascott, model S450, koja je prikazana na slici 30. Uzorci smješteni u slanu komoru prikazani su na slici 31. Ispitivanje je provedeno u trajanju od 10 dana.

Parametri ispitivanja dani su u tablici 3.



Slika 30. Slana komora, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, [13]

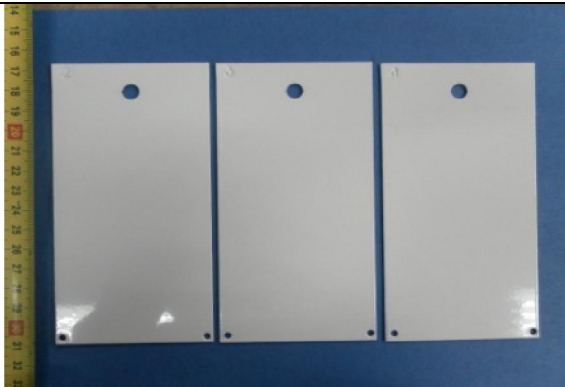

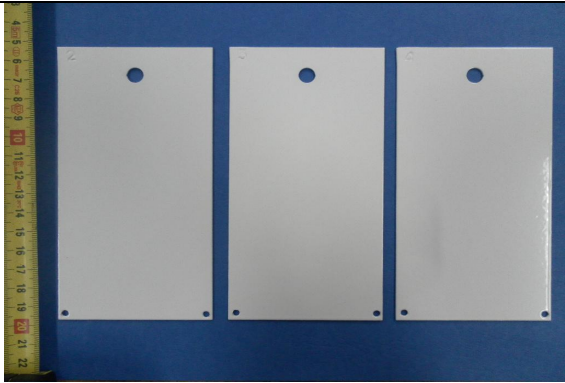
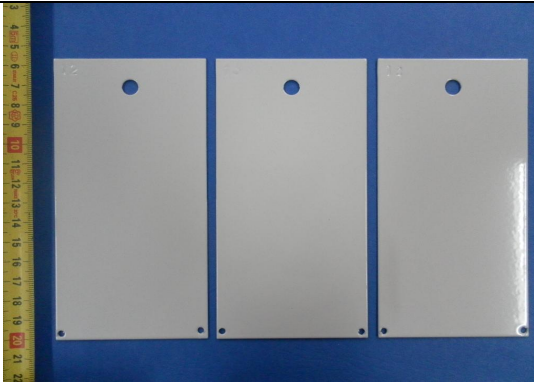
Tablica 3. Parametri ispitivanja u slanoj komori

| | |
|--|--------------------|
| Parametri ispitivanja | Norma DIN 50021 SS |
| Trajanje ispitivanja, h | Prema dogovoru |
| Temperatura ispitnog prostora, °C | 35±2 |
| Volumen ispitnog prostora, L | Min 400 |
| Temperatura ovlaživača komprimiranog zraka, °C | 45-50 |
| Tlak komprimiranog zraka, bar | 0.7-1.4 |
| Ispitna otopina | 5 % NaCl |
| pH otopine | 6.5 - 7.2 |



Slika 31. Uzorci smješteni u slanu komoru, [13]

Nakon ispitivanja u slanoj komori u trajanju od 240 sati na uzrocima nisu pronađeni tragovi mjehuranja, niti ikakvi tragovi korozije i korozijskih produkata, pucanja niti ljuštenja prevlake. Uzorci na kojima je provedeno ispitivanje su prikazani na slici 32.

| | Epoksid | Poliuretan |
|----------------------|---|--|
| Prije slane komore |  |  |
| Poslije slane komore |  |  |

Slika 32. Usporedba uzoraka prije i poslije slane komore, [13]

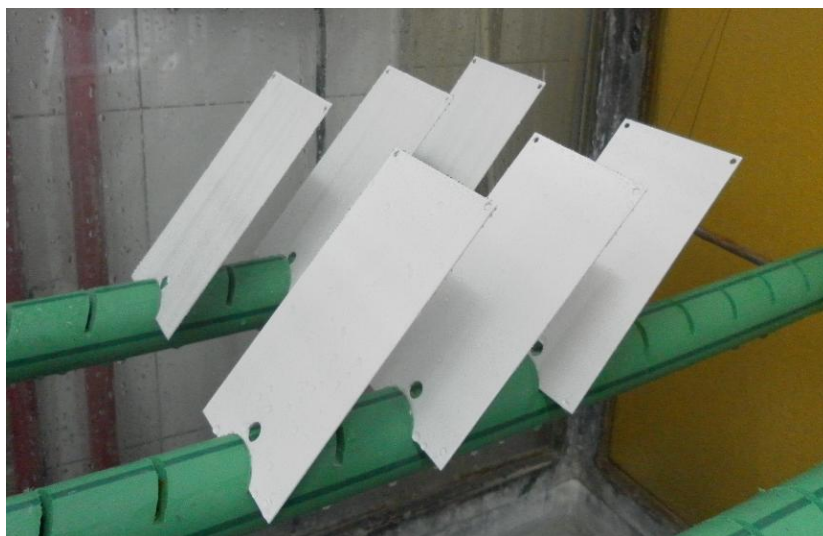
8.9. Ispitivanje otpornosti na vlažnu i toplu atmosferu (vlažna komora)

Ispitivanje otpornosti na vlažnu i toplu atmosferu provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB, u Zagrebu. Ispitivanje se provelo na uzorcima br. 5, 6, 7, 15, 16 i 17 prema normi ASTM B117 u trajanju od 5 dana (120 sati).

Vlažna komora u kojoj se provodilo ispitivanje prikazana je na slici 33., a uzorci smješteni unutar vlažne komore prikazani su na slici 34. U vlažnoj komori se simuliraju uvjeti vlažne i tople atmosfere na način da voda, smještena na grijač u podnožju komore, neprestano isparava te kondenzira na površini uzoraka. Komora ima ugrađen termostaat koji održava temperaturu u komori na $40\pm 3^{\circ}\text{C}$.

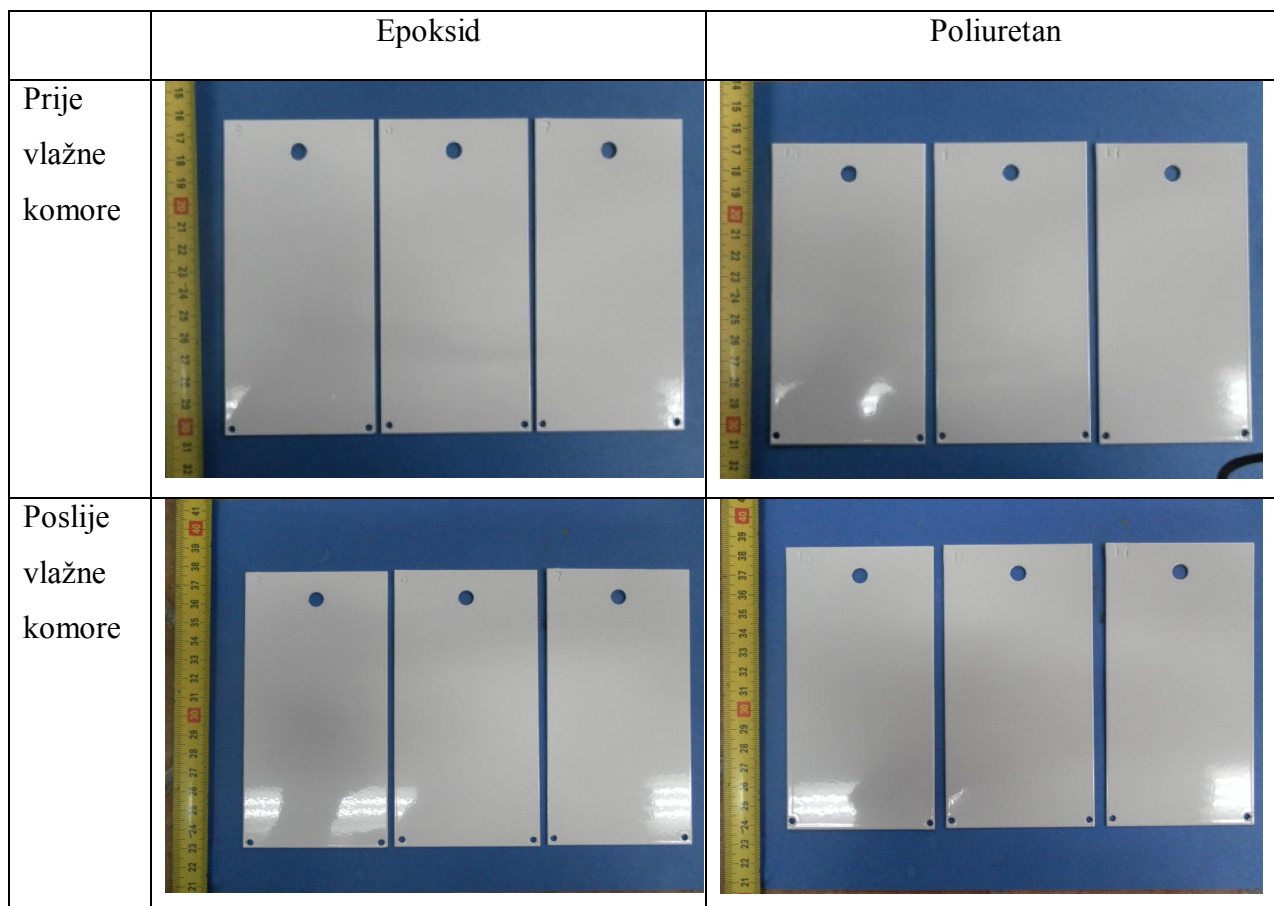


Slika 33. Vlažna komora, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB, [13]



Slika 34. Uzorci unutar vlažne komore, [13]

Nakon ispitivanja u vlažnoj komori na uzorcima nije primijećena promjena u izgledu. Niti na jednom uzorku nije bilo pojave mjehuranja, korozije, korozijskih produkata, pucanja prevlake niti ljuštenja prevlake. Izgled uzoraka prije i poslije ispitivanja je prikazan na slici 35.



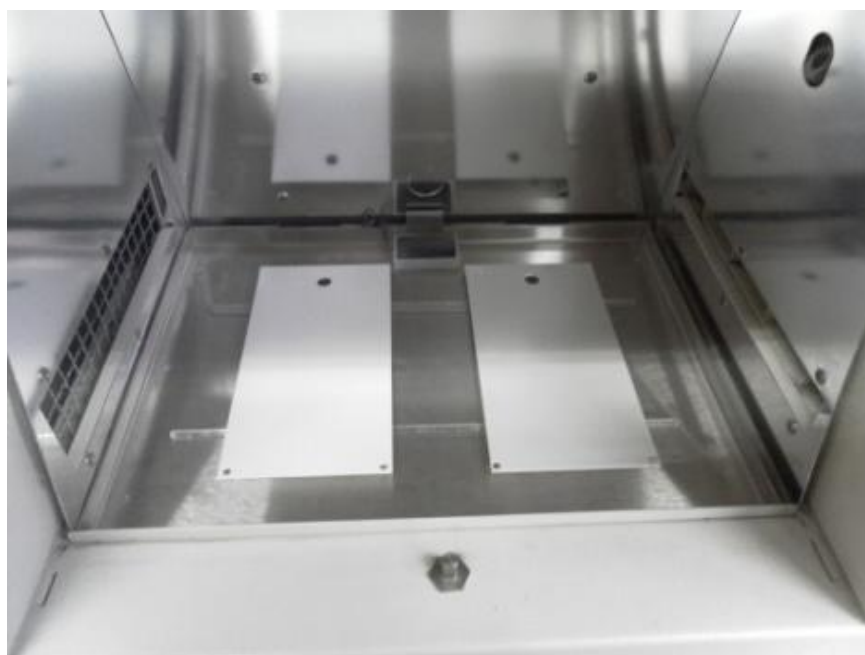
Slika 35. Uzorci prije i poslije vlažne komore, [13]

8.10. Ispitivanje otpornosti na UV zračenje

Ispitivanje otpornosti na vlažnu i toplu atmosferu provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB, u Zagrebu. Ispitivanje je provedeno na uzorcima br. 8 i 18, sukladno normi ISO 4892-2B. Kako bi se ispitala otpornost premaza prema UV zračenju provodi se ispitivanje u UV komori marke Erichsen, model Sunbox 522/1500e koja je prikazana na slici 36. Za ispitivanje je korišten ksenonski izvor svjetla s filterom oznake S201/S401, 280 nm. Ispitivanje se provodi u trajanju od 15 dana kako bi se simulirala izloženost UV zračenju u trajanju od jedne godine (365 dana). Temperatura u komori tijekom ispitivanja iznosila je 65°C. Uzorci unutar UV komore su prikazani na slici 37.



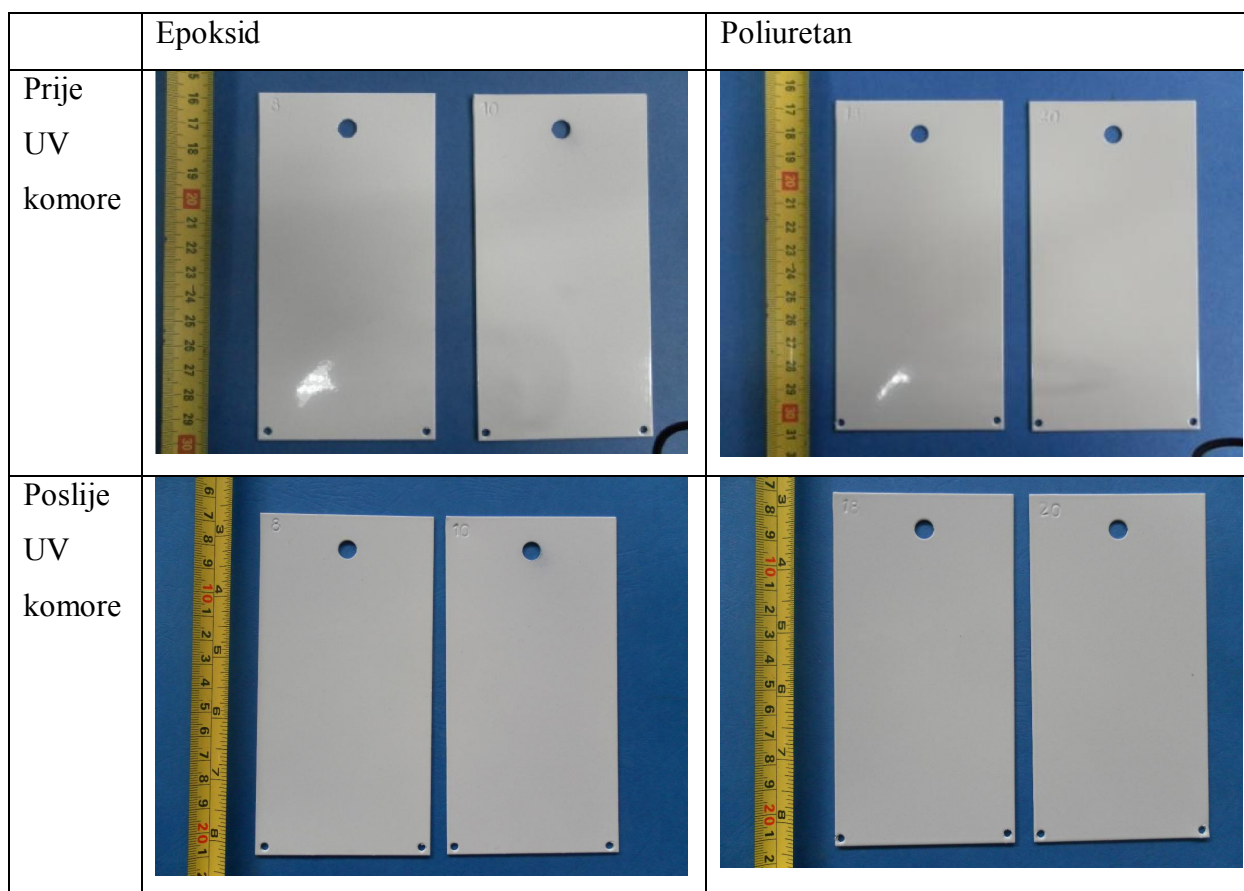
Slika 36. UV komora Erichsen Sunbox 522-1500/e, [13]



Slika 37. Uzorci unutar UV komore, [13]

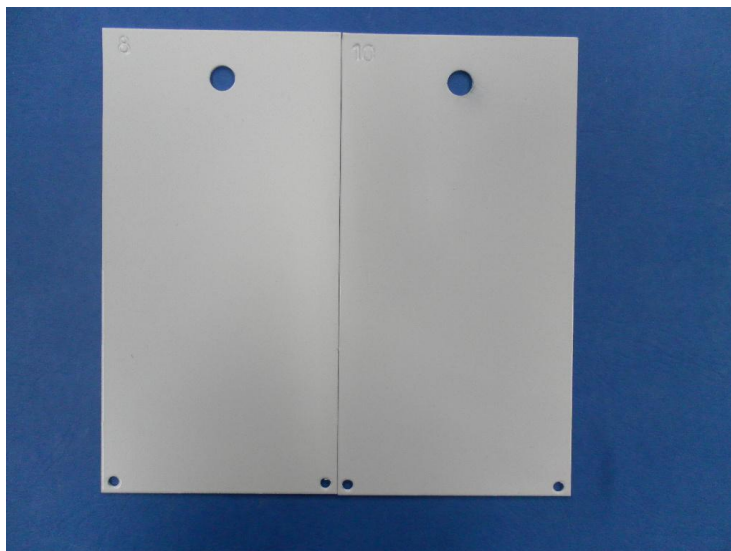
Prema normi ASTM D3424, 1 h ispitivanja u UV komori odgovara 1 danu izlaganja u realnim uvjetima za područje Europe.

Uzorci prije i nakon ispitivanja u UV komori prikazani su na slici 38.

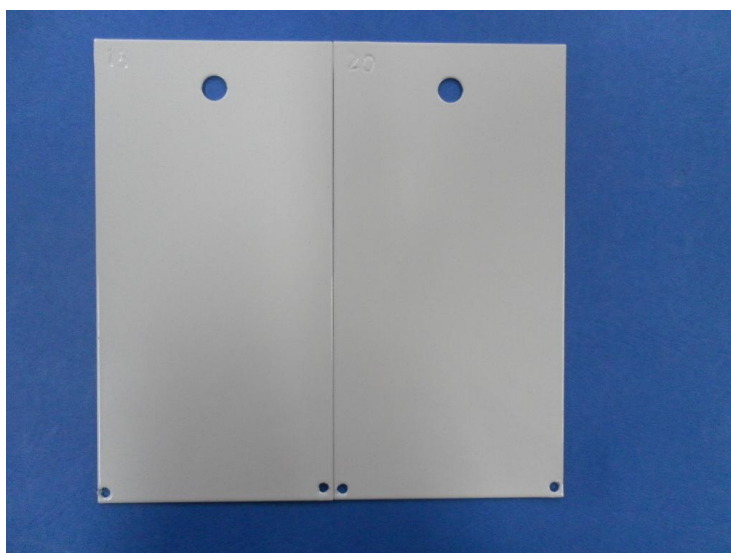


Slika 38. Uzorci prije i nakon UV komore, [13]

Kako bi se eventualne promjene na prevlaci što bolje vidjele, uzorci koji su bili u UV komori su se usporedili s uzorcima na kojima nisu provedena nikakva ispitivanja (etalonima), što je prikazano na slici 39. i slici 40. Na uzorku koji je prevučen epoksidnom prevlakom primjećena je blaga promjena u boji, tj. pojavilo se žućenje površine uz rubove uzorka. Promjena boje je slabo vidljiva i potrebno je staviti uzorke na dnevno svjetlo da pojava bude očigledna. Ta pojava je bila se mogla očekivati, jer je epoksid, iako kemijski otporniji od poliuretana, ipak osjetljiv na izlaganje UV svjetlu. Ukoliko bi se ispitivanje nastavilo još nekoliko dana žućenje površine prevlake bi bilo još očiglednije. Na uzorku s poliuretanskom prevlakom se nisu mogle primjetiti nikakve vidljive promjene. Također je napravljen RAL test, kojim su potvrđene promjene u boji epoksidne prevlake. Rezultati RAL testa su opisani u poglavlju 8.3.



Slika 39. Uzorci s epoksidnom prevlakom (desno - etalon, lijevo - uzorak nakon izlaganja UV-svjetlu), [13]



Slika 40. Uzorak s poliuretanskom prevlakom (desno - etalon, lijevo - uzorak nakon izlaganja UV svjetlu), [13]

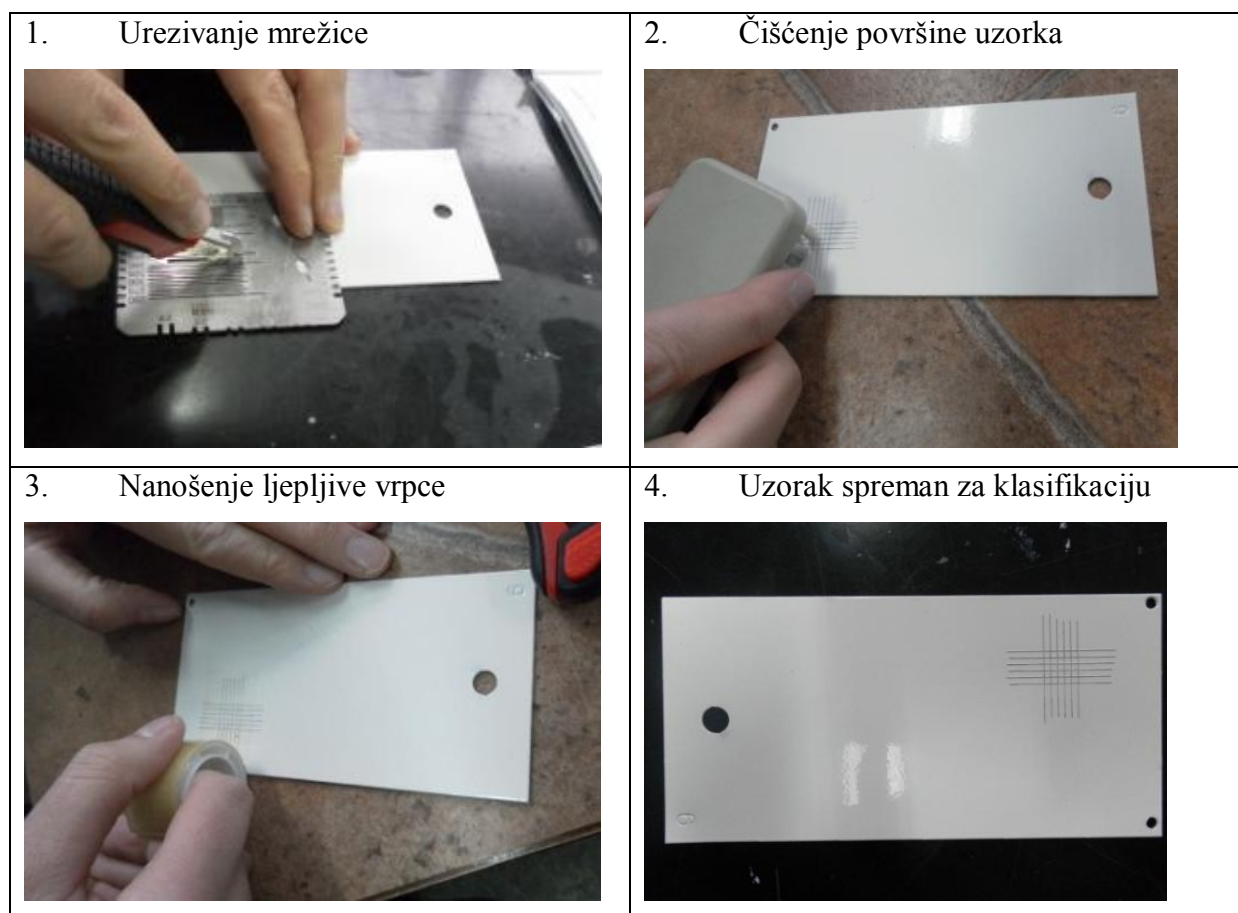
8.11. Ispitivanje prionjivosti

Ispitivanje prionjivosti provedeno je u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB, u Zagrebu.

Kako bi prevlaka adekvatno ispunjavala svoju zaštitnu i estetsku funkciju potrebno je da prijanja za podlogu. Snaga prijanjanja utječe na kvalitetu i radni vijek prevlake. Ispitivanje prionjivosti prevlake izvedeno je po normi ISO 2409.

Prionjivost je jedno od najvažnijih svojstava premaza, a ovisi o kvaliteti pripreme površine i o kompatibilnosti premaza koji se koriste.

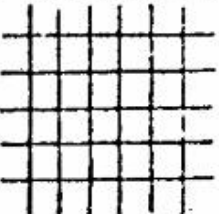
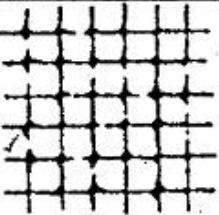
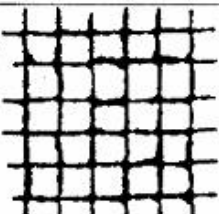
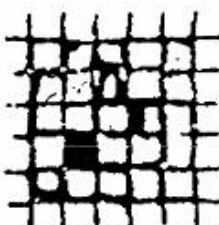
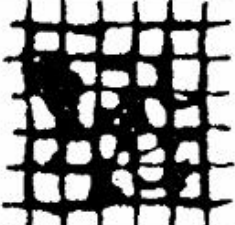
Ispitivanje je provedeno tako da je na uzorku uz pomoć skalpela urezana mrežica od šest horizontalnih i šest vertikalnih paralelnih linija (*cross-cut test*). Udaljenost između paralelnih linija mora biti za izmjerena debljine prevlake od 60 do 120 μm , sukladno normi ISO 2409, 2 mm. Postupak urezivanja mrežice je prikazan na slici 41. Nakon toga potrebno je četkom očistiti tako nastalu mrežicu kako bi se uklonile nečistoće i dijelovi prevlake koji su se odvojili tijekom urezivanja.



Slika 41. Postupak urezivanja mrežice, [13]

Nakon čišćenja, nanosi se ljepljiva traka koju je potrebno dobro nalijepiti na površinu mrežice, nakon čega se ljepljiva traka povlači i tako vlačnom silom djeluje na prevlaku. Tada se promatra da li se dio prevlake odvojio od podloge, te ukoliko jest koliki je postotak površine mrežice ostao bez prevlake. Jačina prijanjanja se ocjenjuje prema tome koliki se postotak prevlake odvojio od mrežice, kao što je prikazano u tablici 4.

Tablica 4. Ocjena prionjivosti prema normi ISO 2409

| OPIS | IZGLED POVRŠINE | ISO 2409 i DIN 53151 |
|---|---|----------------------|
| Tragovi rezova su potpuno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut. |  | 0 |
| Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5% površine je oštećeno. |  | 1 |
| Dio premaza je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici. 5 do 15% površine je oštećeno. |  | 2 |
| Premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice. 15 do 35% površine je oštećeno. |  | 3 |
| Premaz je oljušten duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno oljušteni. 35 do 65% površine je oštećeno. |  | 4 |
| Više od 65 % površine je oljušteno. | Oštećenje veće od 65 %. | 5 |

Ovo ispitivanje se provodilo na uzorcima br. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19.

Uzorci br. 9 i 19 su ispitani bez da su na njima prethodno provedena ikakva ispitivanja kako bi se utvrdilo početno stanje prevlake.

Uzorci br. 2, 3, 4, 12, 13, 14 su ispitani nakon što se na njima provelo ispitivanje u slanoj komori opisano u poglavlju 8.8.

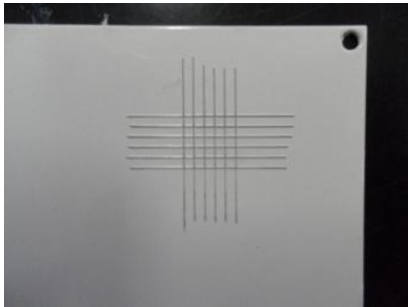
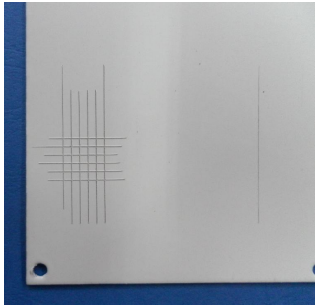
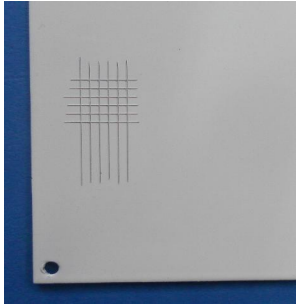
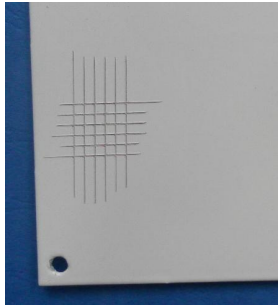

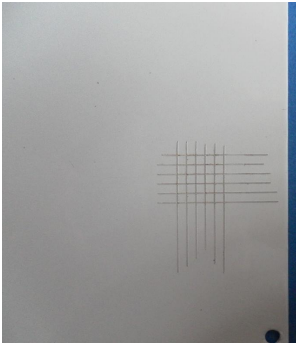
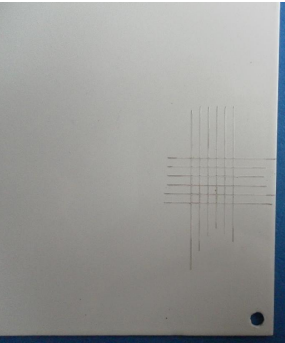
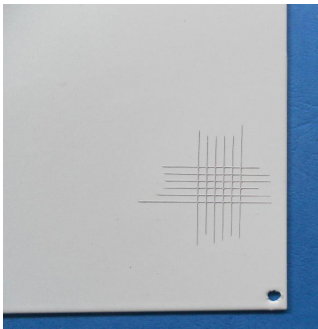
Uzorci br. 5, 6, 7, 15, 16, 17 su ispitani nakon što se na njima provelo ispitivanje u vlažnoj komori opisano u poglavlju 8.9.

Uzorci br. 8 i 18 su ispitani nakon što se na njima provelo izlaganje u UV komori opisano u poglavlju 8.10.


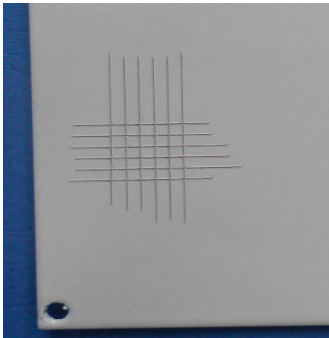
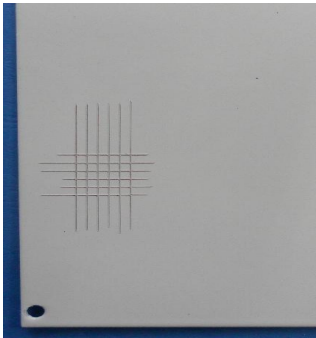
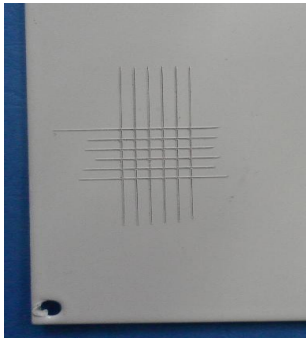
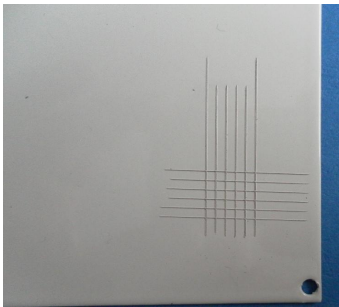
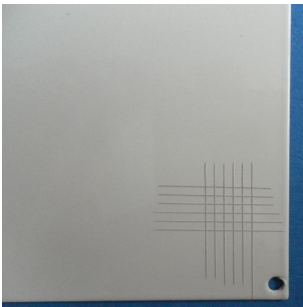
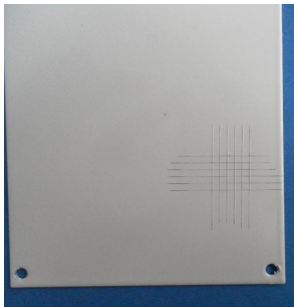
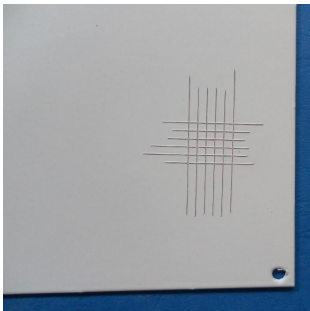
Izgled uzoraka s epoksidnom prevlakom nakon ispitivanja i ocjene prijanjanja je prikazan u tablici 4.

Izgled uzoraka s poliuretanskom prevlakom nakon ispitivanja i ocjene prijanjanja je prikazan u tablici 5.

Tablica 4. Izgled uzoraka s epoksidnom prevlakom nakon ispitivanja adhezije

| | Epoksid | | | Ocjena prionjivosti |
|-----------------------|---|---|--|---------------------|
| Kontrolni uzorak | Uzorak 9  | | | 0 |
| Poslije slane komore | Uzorak 2  | Uzorak 3  | Uzorak 4  | 0 |
| Poslije vlažne komore | Uzorak 5  | Uzorak 6  | Uzorak 7  | 0 |
| Poslije UV komore | Uzorak 8  | | | 0 |

Tablica 5. Izgled uzoraka s poliuretanskom prevlakom nakon ispitivanja adhezije

| | Poliuretan | | | Ocjena prionjivosti |
|-----------------------|--|--|---|---------------------|
| Kontrolni uzorak | Uzorak 19  | | | 0 |
| Poslije slane komore | Uzorak 12  | Uzorak 13  | Uzorak 14  | 0 |
| Poslije vlažne komore | Uzorak 15  | Uzorak 16  | Uzorak 17  | 0 |
| Poslije UV komore | Uzorak 18  | | | 0 |

Iz prethodno prikazanih tablica može se vidjeti da su uzorci s epoksidnom prevlakom i uzorci s poliuretanskom prevlakom, nakon ispitivanja u slanoj, vlažnoj i UV komori, zadovoljili kriterije za adhezijom prevlake s najboljom ocjenom (0).

S obzirom na vrlo visoke ocjene u ovim ispitivanjima može se zaključiti da se ove prevlake preporučuju za korištenje u uvjetima visoke temperature i vlage, te u uvjetima morske atmosfere. Prema trajnosti ispitivanja u vlažnoj komori od 120 h te ispitivanja u slanoj komori od 240 h bez pojave korozije i propadanja prevlaka, ispitani uzorci odgovaraju preporuci primjene u okolišu korozivnosti C4 za nisku trajnost od 2 do 5 godina sukladno normi ISO 12944-6. Kod ispitivanja u UV komori epoksidna prevlaka je pokazala promjene u boji, ali je utvrđeno da izloženost UV zračenju koje je ekvivalent godinu dana u realnim uvjetima ne utječe na snagu adhezije te prevlake. Nakon ispitivanja u UV komori uzorci s poliuretanskom prevlakom i uzorci s epoksidnom prevlakom su imali maksimalnu vrijednost adhezije.

8.12. Ispitivanje tvrdoće prevlake

U cilju ispitivanja osjetljivosti premaza na abraziju provodi se ispitivanje tvrdoće prevlake. Tvrdoća prevlake je važno svojstvo, pogotovo ako je prevlaka izložena abrazivnim česticama. Što je premaz tvrdi abrazivna oštećenja će biti manja, te će premaz pružati veću zaštitu od korozije i imati duži vijek trajanja. Postupak mjerenja tvrdoće se provodi sukladno normi ISO 15184. Za ovo ispitivanje koristi se 14 test olovaka koje imaju mine različitih tvrdoća. Oznake tvrdoća olovaka koje se koriste u ovom ispitivanju od najtvrdje do najmekše su: 6H, 5H, 4H, 3H, 2H, H, F, HB, B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B. Test olovke koje se koriste za mjerenje tvrdoće prikazane su na slici 42.



Slika 42. Test olovke za mjerenje tvrdoće, [13]

Ispitivanje se provodi na slijedeći način:

1. Olovka najveće tvrdoće se pričvrsti u pokretni uteg koji pritišće olovku konstantnom silom o ispitnu površinu.
2. Pokretni uteg se rukom gura po površini ispitivane površine uzorka najmanje 7 mm.
3. Ukoliko olovka ostavi ogrebanu trag na površini uzorka stavlja se olovka manje tvrdoće.
4. Tvrdoća prve olovke koja ne ostavi ogrebanu trag na površini uzorka označava tvrdoću prevlake.

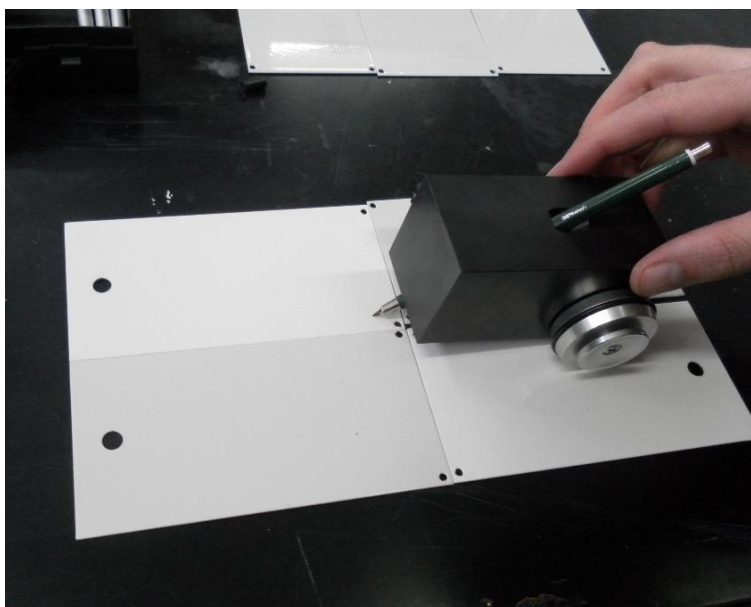
Prevlake kod kojih olovke u intervalu 6H-3H ne ostavljaju trag su tvrde prevlake, 2H-2B su srednje tvrde prevlake, a 3B-6B su meke prevlake.

Ispitivanje se provelo na uzorcima br. 9 i 19.

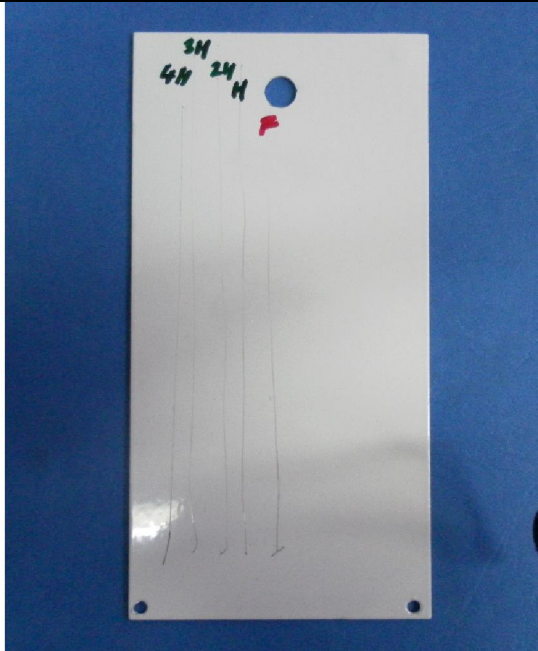

Nakon ispitivanja utvrđeno je da na uzorku s epoksidnom i uzorku s poliuretanskom prevlakom prva olovka koja nije ostavila trag je oznake F, što znači da oba uzorka imaju približno jednaku tvrdoću prevlake.

S obzirom da oba uzorka imaju tvrdoću F , to znači da materijali s tom ili manjom tvrdoćom neće moći abrazivno djelovati na površinu ovih prevlaka. Kako oznaka F spada u interval 2H-2B, prevlake na ispitanim uzorcima spadaju u kategoriju srednje tvrdih prevlaka.

Na slici 43. je prikazan postupak ispitivanja, a na slici 44. su prikazani rezultati ispitivanja za uzorke s epoksidnom prevlakom i poliuretanskom prevlakom.



Slika 43. Postupak ispitivanja tvrdoće prevlake, [13]

| Uzorak 9 | Uzorak 19 |
|---|--|
|  |  |

Slika 44. Rezultati mjerenja tvrdoće prevlake, [13]

9. ANALIZA REZULTATA

Priprema uzoraka nanošenjem epoksidnih i poliuretanskih prevlaka na aluminijske pločice provedena je u tvrtci Iveković TZM, dok su fizikalno-kemijska svojstva uzoraka ispitana u Laboratoriju za zaštitu materijala FSB-a, te u tvrtci Chromos boje i lakovi d.d. iz Zagreba.

Aluminij je, iako dobro zaštićen pasivnim filmom, ipak sklon lokalnoj koroziji te je osjetljiv na određene okolišne uvjete. Također legiranjem aluminija zaštitna svojstva mu se uvelike smanjuju te ga je često potrebno dodatno zaštititi. Epoksidne prevlake čine odličnu zaštitu zbog svoje kemijske otpornosti, otpornosti na vlagu te otpornosti na visoke temperature. Od epoksidnih prevlaka posebno se izdvajaju prevlake koje se nanose elektrostatskim naprašivanjem koje, osim svih prednosti koje pruža zaštita epoksidne prevlake, ne sadržavaju hlapive organske spojeve. Nedostatak korištenja elektrostatski nanesenih epoksidnih prevlaka nad tekućim epoksidnim premazima je u njihovoj manjoj fleksibilnosti i žilavosti. Također, nedostatak svih epoksida je osjetljivost na UV svjetlo, jer postoji velika opasnost da dođe do kredanja prevlake, pogotovo prilikom dužih razdoblja izloženosti.

U sklopu eksperimentalnog dijela provedena su sljedeća ispitivanja:

- prema RAL karti
- mjerenje debljine prevlake
- sjaja
- otpornosti na udar
- elastičnosti
- otpornosti na morsku atmosferu (slana komora)
- otpornosti na vlagu (mokra komora)
- otpornosti na UV zračenje (UV komora)
- prionjivost
- tvrdoću prevlake

Ispitivanje nijansi sukladno RAL karti pokazuje da je RAL vrijednost epoksidne prevlake 9002, a poliuretanske prevlake 9003. Nakon ispitivanja u UV komori primjećena je razlika u boji kod epoksidne prevlake, dok na poliuretanskoj prevlaci nije primjećena razlika u boji. Promjena u boji nakon izloženosti UV svjetlu se mogla očekivati, jer je epoksid osjetljiv na UV svjetlo te prilikom duže izloženosti dolazi do promjene boje – kredanja i žućenja.

Iz ovih rezultata se može zaključiti da je poliuretanska prevlaka dobra za primjene gdje se zahtjeva postojanost na sunčevu i UV svjetlost, dok je za takve primjene epoksidne prevlake bolje izbjegavati. S obzirom na osjetljivost epoksidne prevlake na UV svjetlo, potrebno je izbjegavati njeno korištenje na otvorenom prostoru, pogotovo ukoliko je estetika prevlake važna, jer dolazi do gubitka boje. U takvim je slučajevima bolje koristiti poliuretansku prevlaku zbog njene otpornosti na UV zračenje.

Ispitivanje sjaja je pokazao da epoksidna prevlaka ima vrijednost sjaja 86,5% dok poliuretanska prevlaka ima od 83 do 86%. Iako ovo svojstvo prevlake ne utječe na zaštitnu funkciju, vrlo je bitno ukoliko se prevlaka koristi u dekorativne svrhe. Epoksidna prevlaka je pokazala veću ujednačenost u sjaju površine te veću vrijednost sjaja, što je, za primjenu u zatvorenim prostorima važna prednost.

Prilikom mjerenja debljine prevlake utvrđeno je da je epoksidna prevlaka nanescena u tanjem sloju nego poliuretanska, no, nakon provedenih ispitivanja, nije uočena razlika u otpornosti na mokru i vlažnu atmosferu.

Ispitivanje otpornosti na udar je pokazalo epoksidna prevlaka može izdržati udar od 50 cm, dok poliuretanska prevlaka može izdržati udar od 20 cm. Epoksidna prevlaka je pokazala veću otpornost na udarno opterećenje od poliuretanske prevlake.

Ispitivanje elastičnosti prevlake je pokazalo da uzorak s epoksidnom prevlakom ima elastičnost 7,7 mm, dok uzorak s poliuretanskom prevlakom ima elastičnost 7,6 mm. Vrijednosti elastičnosti ove dvije prevlake su dosta bliske, ali s obzirom da je epoksidna prevlaka pokazala veću elastičnost od poliuretanske, bolje ju je upotrebljavati za primjene gdje se očekuje veća plastična ili elastična deformacija podloge.

Nakon ispitivanja u slanoj komori svi uzorci su imali u potpunosti neoštećenu prevlaku. Niti na jednom uzorku nije primjećena pojava korozije i korozijskih produkata, mjehuranja, pucanja i ljuštenja prevlake. I epoksidna prevlaka i poliuretanska prevlaka na aluminijskoj podlozi su pokazale veliku otpornost na morsku atmosferu.

S obzirom na veliku postojanost aluminijske zaštićene polietilenske i epoksidne prevlake prilikom ispitivanja u slanoj komori, konstrukcije s ovom kombinacijom supstrata i prevlake se svakako preporučaju prilikom odabira materijala za gradnju u priobalnim područjima i u morskoj okolini.

Ispitivanje u vlažnoj komori je pokazalo izrazitu otpornost epoksidne i polietilenske prevlake prema toploj atmosferi s visokom zasićenošću zraka vlagom. Nakon ispitivanja niti na jednom uzorku nisu primijećeni tragovi korozije i korozijski produkti, na što vjerojatno utječe i to da je podloga načinjena od aluminijske, koja ima veliku otpornost na koroziju. Na površini prevlake nije primijećena pojava mjehuranja, pucanja niti ljuštenja prevlake. Ispitane prevlake zadovoljavaju uvjete primjene u korozivnosti okoliša C4 za nisku trajnost, sukladno normi ISO 12944-6.

Ispitivanje adhezije je pokazalo da epoksidne i polietilenske prevlake nanese elektrostatskim naprašivanjem imaju vrlo veliku prionjivost na podlogu. Svi uzorci koji na kojima je provedeno ispitivanje su ocijenjeni najvišim ocjenama, čak i uzorci koji su ispitani u slanoj i vlažnoj komori. Prilikom ispitivanja adhezije nakon UV komore također nije primijećena smanjena adhezija. Ispitivanje je pokazalo da uzorci s epoksidnom i uzorci s polietilenskom prevlakom imaju približno jednaku vrijednost adhezije.

Ispitivanje tvrdoće uz pomoć olovaka nije pokazalo razliku u tvrdoći između epoksidne i polietilenske prevlake. Obje prevlake imaju vrijednost tvrdoće F, što znači da spadaju u kategoriju srednje tvrdih prevlaka.

Velika otpornost na slanu i vlažnu atmosferu, te dobra mehanička svojstva, koja su gotovo ista kod obje prevlake, postiže se kombinacijom materijala podloge, kemijski otporne prevlake i nanošenja prevlake elektrostatskim naprašivanjem.

S obzirom da je materijal podloge aluminij, koji je kemijski inertan u neutralnoj i blago kiseloj atmosferi zbog svog zaštitnog oksidnog filma, nije došlo do stvaranja nikakvih produkata korozije ispod prevlake. Prevlake nanese elektrostatičkim naprašivanjem snažno prijanjaju na površinu metala, što je i dokazano adhezijskim ispitivanjima.

Epoksidne i polietilenske prevlake pokazale su odličnu kemijsku otpornost u vlažnoj i slanoj komori (NaCl).

10. ZAKLJUČAK

- Prevlake od epoksida i poliuretana su pokazala vrlo slična svojstva u gotovo svim ispitivanjima. Obje prevlake na aluminijskoj površini pokazuju izuzetna svojstva otpornosti prema morskoj atmosferi, te vlažnoj i toploj atmosferi, što je utvrđeno ispitivanjima u slanoj komori u trajanju od 10 dana i vlažnoj komori u trajanju od 5 dana. Nakon ispitivanja je vršeno ispitivanje na adheziju, te nije primjećeno nikakvo smanjenje adhezije kod obje prevlake.
- Epoksidne i poliuretanske prevlake pokazale su odličnu kemijsku otpornost u vlažnoj i slanoj komori (NaCl).
- Izmjerene debljine prevlake su pokazale da je epoksidna prevlaka (35.8 - 88.4 μm) na uzorcima nanosena u tanjem sloju nego poliuretanska (45.2 – 102 μm), ali se nakon provedenih ispitivanja može zaključiti da razlika u debljini prevlake ne utječe na njena zaštitna svojstva.
- Ispitivanje elastičnosti prevlake pokazalo je vrlo sličnu elastičnost i kod poliuretanske i kod epoksidne prevlake, no epoksidna prevlaka se pokazala neznatno boljom u odnosu na poliuretansku.
- Ispitivanje otpornosti na udar je pokazalo da epoksidna prevlaka ima znatno veću otpornost na udarno opterećenje od poliuretanske prevlake.
- Tvrdća obje prevlake je ispitana pomoću olovaka različitih tvrdoća, te su rezultati ispitivanja pokazali da su obje prevlake srednje tvrde i da im je tvrdoća ista.
- Prilikom ispitivanja otpornosti na UV zračenje u trajanju od 15 dana, epoksidna prevlaka je pokazala neznatnu promjenu u boji, dok je poliuretanska prevlaka ostala iste boje kao i na početku ispitivanja.

11. LITERATURA

- [1] I. Esih: „Osnove površinske zaštite“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [2] I. Esih, Z. Dugi: „TEHNOLOGIJA ZAŠTITE OD KOROZIJE“, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [3] „ASM Handbook volume 13A Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection“, ASM international, Materials Park, Ohio, 2003.
- [4] M. Fontana, N. Greene: „Corrosion engineering“, McGraw-Hill book company, New York, 1978.
- [5] T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof: „Svojstva i primjena materijala“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006.
- [6] <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=320>, pristupio 15.1.2013.
- [7] <http://www.harryinternational.com/images/AluminumFoil.jpg>, pristupio 3.1.2013.
- [8] <http://www.nature.com/nature/journal/v159/n4052/abs/159870c0.html>, pristupio 15.1.2012.
- [9] <http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/53922399.jpg>, pristupio 5.1.2013.
- [10] http://i02.i.aliimg.com/img/pb/760/521/258/1279615578568_hz-myalibaba-web5_4318.JPG, pristupio 3.1.2013.
- [11] http://image.tradenvv.com/2007/12/24/yuelingwheelhub_11029_450/aluminium-wheels.jpg, pristupio 20.11.2012.
- [12] <http://taoyuanalu.en.made-in-china.com/product/XMCnZVcOiKhW/China-Powder-Coating-Aluminium-Profile.html>, pristupio 20.11.2012.
- [13] Vlastita arhiva fotografija
- [14] Šercer D.: „Zaštita ukopanih čeličnih konstrukcija prevlakama“, Završni rad, FSB, Zagreb, 2012.
- [15] http://www.mzoip.hr/doc/publikacije/Vodic_Uredbe_GVE_05092007.pdf, pristupio 12.11.2012.
- [16] http://en.wikipedia.org/wiki/Powder_coating, pristupio 14.11.2012.
- [17] http://www.rdmengineering.co.uk/powder_coating.htm, pristupio 12.11.2012.
- [18] <http://www.professionalcoatings.co.uk/process.html>, pristupio 12.11.2012.
- [19] <http://www.powderbulksolids.com/article/teflon-powder-coating-adds-chemical-corrosion-resistance>, pristupio 12.11.2012.
- [20] http://doveequipmentmn.com/Dove_Equipment_MN/Literature_files/UM_EPG2008_EN-G_0360891.pdf, pristupio 28.11.2012.
- [21] <http://dread240.hubpages.com/hub/powdercoatingequipment>, pristupio 28.11.2012.

- [22] E. Spyrou: „Stirred or shaken“, European coatings journal, prosinac 2012., (13 - 14)
- [23] L. Molohoeck, J. Verlaak: „Sustainability of powder coatings“, European coatings journal, prosinac 2012., (74 - 79).
- [24] http://www.itwfinishing.com.au/docs/document_4416073b5974c.pdf, pristupio 28.11.2012.
- [25] E. Barlow: „Powder coatings: Global market analysis“, European coatings journal, prosinac 2012., (8 - 9).
- [26] <http://taoyuanalu.en.made-in-china.com/product/XMCnZVcOiKhW/China-Powder-Coating-Aluminium-Profile.html>, pristupio 27.11.2012.
- [27] <http://www.allfordmustangs.com/forums/attachments/2005-2010-mustang-talk/74741d1248345661-powder-coating-valve-covers-2007-mustang-gt-engine1.jpg>, pristupio 5.1.2013.
- [28] http://www.qualicoat.net/qcsite/download/uk/13th%20EDITION_17.08.12.pdf, pristupio 20.12.2012.